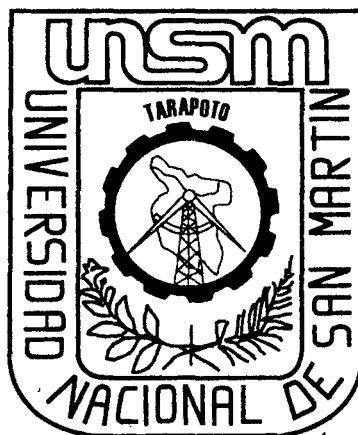


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**

**FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL**



**“ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE SECADO DE FILETES  
DE TILAPIA (*Oreochromis sp.*)”.**

**TESIS**

Para Optar el Título Profesional de:  
**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Presentada por la Bachiller:  
**BETTY ELIZABETH TELLO PANDURO.**

**Tarapoto Perú**

**2003**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN.**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL.**

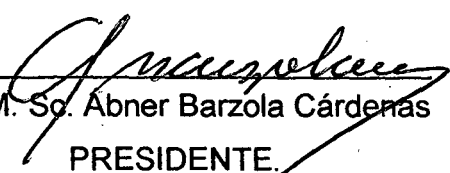
**“ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE SECADO DE FILETES  
DE TILAPIA (*Oreochromis sp.*)””.**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PRESENTADA POR LA BACHILLER:  
BETTY ELIZABETH TELLO PANDURO.**

**SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL SIGUIENTE JURADO:**

  
Ing. M. Sc. Abner Barzola Cárdenas  
**PRESIDENTE.**

  
Ing. M. Sc. Manuel Fernando Coronado Jorge  
**SECRETARIO.**

  
Ing. Abilio Domínguez Baldoceda  
**MIEMBRO.**

**TARAPOTO - PERU.**

**2003**

## **DEDICATORIA.**

A mis padres: Wellington y Esther cuyo apoyo me acompaño siempre y a quienes debo una eterna gratitud.

A Jensen mi esposo, con inmensa gratitud por su constante e invaluable apoyo, comprensión y sobre todo su cariño y amor.

A mis hermanos: Nancy Luz, José Luis, Wendy Esther, por su colaboración, eterna confianza y aliento desinteresado en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

- Al Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada, por su apoyo incondicional en el asesoramiento durante la realización de este trabajo de investigación.
- A compañeros, María Isabel, Yliana del Carmen, Robert, Javier, Juan, Marco y Aldo, por su apoyo y sobre todo su amistad.
- A la Dra. Mari Medina por la ayuda en el asesoramiento y las revisiones prestadas.
- A Maribel Heredia Baca y Colbert Hernán García Rivas Plata, mi agradecimiento especial por todo el apoyo brindado.
- A Michell Montilla Tuesta y Rocío Escudero Tanchiva, por el apoyo para la culminación del presente trabajo de investigación.
- A los técnicos de laboratorio; Dolly Flores, Guido Saavedra y Pedro Navarro por todas las facilidades brindadas en los análisis realizados.
- A todas aquellas personas que de alguna u otra forma colaboraron para la ejecución del presente trabajo.
- A Jhon Vela Torrejón por las atenciones y apoyo prestado para la culminación de la redacción.

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	17
I. INTRODUCCION.....	19
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	21
2.1 MATERIA PRIMA.....	21
2.1.1 Generalidades.....	21
2.1.2 Clasificación Taxonómica.....	23
2.1.3 Datos ambientales.....	24
2.1.3.1 Rango térmico para cultivo.....	24
2.1.3.2 Terrenos aptos.....	24
2.1.3.3 Fuente de abastecimiento de agua.....	25
2.1.3.3.1 Temperatura.....	25
2.1.3.3.2 Oxígeno disuelto.....	25
2.1.3.3.3 Otras características.....	26
2.1.4 Cultivo.....	26
2.1.4.1. Sistema de cultivo.....	26
2.1.5 Composición proximal de la tilapia.....	28
2.2 SECADO.....	31
2.2.1 Tipos de secado.....	31
2.2.1.1 Secado directo.....	31
2.2.1.2 Secado indirecto.....	32
2.2.2 Estática de secado.....	32
2.2.2.1 Humedad.....	32

2.2.2.2 Humedad de equilibrio.....	32
2.2.2.3 Cuerpos húmedos y cuerpos higroscópicos.....	32
2.2.2.4 Humedad libre.....	33
2.2.2.5 Humedad ligada o agua ligada.....	33
2.2.2.6 Humedad desligada o agua desligada.....	33
2.2.3 Cinética de secado.....	33
2.2.4 Curvas de velocidad de secado.....	34
2.2.4.1 Introducción y métodos experimentales.....	34
2.2.4.2 Determinación experimental de la velocidad de secado.....	34
2.2.4.3 Conversión de los datos a curvas de velocidad de secado.....	35
2.2.4.4 Grafica de la curva de velocidad de secado.....	38
2.2.4.5 Secado durante el periodo de velocidad constante.....	39
2.2.4.6 Secado durante el periodo de velocidad decreciente.....	40
2.2.4.7 Movimientos de humedad en los sólidos durante el secado en el periodo de velocidad decreciente.....	40
2.2.4.8 Teoría de la difusión del líquido.....	41
2.2.4.9 Movimiento capilar en los sólidos porosos.....	42
2.2.5 Secado de pescado.....	43
2.3 ISOTERMAS DE SORCION.....	49
2.3.1 Isotermas de adsorción y estado del agua en los alimentos.....	49
2.3.1.1 Agua fuertemente ligada.....	49
2.3.1.2 Agua débilmente ligada y agua libre.....	50
2.3.2 Efecto de la temperatura.....	52
2.3.3 Modelos de isotermas.....	52
2.4 ANÁLISIS SENSORIAL.....	53

2.5 SUPERFICIE DE RESPUESTA.....	55
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN.....	58
3.2 MATERIA PRIMA.....	58
3.3 EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS.....	58
3.3.1 Equipos.....	58
3.3.2 Materiales.....	61
3.4 REACTIVOS.....	61
3.5 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	62
3.6 DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE SECADO DE FILETES.....	64
3.6.1 Obtención de la materia prima.....	65
3.6.2 Selección.....	65
3.6.3 Sacrificio y desangrado.....	65
3.6.4 Descamado.....	65
3.6.5 Fileteado.....	65
3.6.6 Despellejado.....	66
3.6.7 Dimensionado del filete.....	66
3.6.8 Deshidratado.....	66
3.6.9 Enfriado.....	66
3.6.10 Empacado.....	67
3.7 MÉTODOS DE CONTROL.....	67
3.7.1 Control en el filete de tilapia fresco.....	67
3.7.1.1 Determinación de dimensiones.....	67
3.7.1.2 Análisis químico proximal del filete fresco.....	67
3.7.1.2.1 Humedad.....	67

3.7.1.2.2 Proteína total.....	67
3.7.1.2.3 Grasa total.....	68
3.7.1.2.4 Cenizas totales.....	68
3.7.2 Controles durante el proceso.....	68
3.7.3 Controles del filete seco.....	68
3.7.3.1 Determinación de dimensiones.....	68
3.7.3.2 Análisis químico proximal del filete seco.....	69
3.7.3.2.1 Humedad.....	69
3.7.3.2.2 Proteína total.....	69
3.7.3.2.3 Grasa total.....	69
3.7.3.2.4 Cenizas totales.....	69
3.7.3.3 Isotermas de adsorción.....	69
3.7.3.4 Análisis sensorial.....	70
3.7.4 Determinación de difusividad.....	71
3.7.5 Capacidad de rehidratación.....	71
3.7.6 Velocidad de secado.....	72
IV. RESULTADOS.....	73
4.1 BIOMETRÍA DE LOS FILETES DE TILAPIA.....	73
4.2 COMPOSICIÓN PROXIMAL.....	74
4.3 ISOTERMAS DE ADSORCION.....	75
4.4 SECADO.....	77
4.4.1 Efecto de la temperatura.....	77
4.4.2 Efecto de la velocidad del aire de secado.....	79
4.5 VELOCIDAD DE SECADO.....	82
4.6 DIFUSIVIDAD .....	83



4.7 FLUJOGRAMA Y BALANCE DE MATERIALES PARA LA	
OBTENCION DE FILETES DE TILAPIA DESHIDRATADOS.....	88
4.8 ANALISIS SENSORIAL.....	88
4.8.1 Superficie de respuesta para el análisis sensorial de filete de tilapia	
deshidratada.....	92
4.8.1.1 Apariencia general.....	93
4.8.1.2 Color.....	94
4.8.1.3 Textura.....	95
4.8.1.4 Olor.....	96
4.9 REHIDRATACION.....	97
V. CONCLUSIONES.....	98
VI. RECOMENDACIONES.....	99
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	100
VIII ANEXOS.....	104

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 01 Alevines de Tilapia.....	23
Figura N° 02 Estanques para cultivo de tilapia.....	27
Figura N° 03 Sistema de cultivo en jaulas suspendidas.....	27
Figura N° 04 Curva típica de velocidad de secado constante.....	37
Figura N° 05 Curvas típicas de velocidad de secado.....	43
Figura N° 06 Variación del contenido de la radiación solar, temperatura del aire en la cámara de secado y humedad de los filetes de tilapia.....	48
Figura N° 07 Representación gráfica de una superficie de respuesta.....	56
Figura N° 08 Representación gráfica de las curvas de nivel de una superficie de respuesta.....	57
Figura N° 09 Secador por flujo de aire caliente.....	60
Figura N° 10 Diagrama de flujo de secado de filete de pescado	
Figura N° 11 Isotermas de adsorción de filetes de tilapia ajustadas con la ecuación de GAB.....	75
Figura N° 12 Isotermas de adsorción de filetes de tilapia ajustadas con la ecuación de BET.....	76
Figura N° 13 Efecto de la temperatura sobre la cinética de secado de los filetes de tilapia a velocidad del aire de secado a 0.5 m/s.....	77
Figura N° 14 Efecto de la temperatura sobre la cinética de secado de los filetes de tilapia a velocidad del aire de secado a 0.8 m/s.....	78
Figura N° 15 Efecto de la temperatura sobre la cinética de secado de los filetes de tilapia a velocidad del aire de secado a 1.1 m/s.....	78

Figura N° 16 Efecto de la velocidad del aire de secado sobre la cinética de secado del filete de tilapia a temperatura de 40 °C.....	79
Figura N° 17 Efecto de la velocidad del aire de secado sobre la cinética de secado del filete de tilapia a temperatura de 50 °C.....	80
Figura N° 18 Efecto de la velocidad del aire de secado sobre la cinética de secado del filete de tilapia a temperatura de 60 °C.....	80
Figura N° 19 Velocidad de secado a temperaturas de 40, 50 y 60 °C a velocidad de aire constante de 0.5 m/s.....	82
Figura N° 20 Velocidad de secado a temperaturas de 40, 50 y 60 °C a velocidad de aire constante de 0.8 m/s.....	82
Figura N° 21 Velocidad de secado a temperaturas de 40, 50 y 60 °C a velocidad de aire constante de 1.1 m/s.....	83
Figura N° 22 Comportamiento de las difusividades para velocidad de aire de secado de 0.5 m/s a 40, 50 y 60 °C.....	84
Figura N° 23 Comportamiento de las difusividades para velocidad de aire de secado de 0.8 m/s a 40, 50 y 60 °C.....	84
Figura N° 24 Comportamiento de las difusividades para velocidad de aire de secado de 1.1 m/s a 40, 50 y 60 °C.....	85
Figura N° 25 Superficie de respuesta para la difusividad en función de la temperatura y velocidad del aire durante el secado de filete de tilapia.....	87
Figura N° 26 Flujograma para la obtención y balance de materiales para filetes de tilapia deshidratado.....	88
Figura N° 27 Superficie de respuesta para el atributo apariencia según el análisis sensorial realizada por los jueces.....	93

Figura N° 28 Superficie de respuesta para el atributo color según el análisis sensorial realizada por los jueces.....	94
Figura N° 29 Superficie de respuesta para el atributo textura según el análisis sensorial realizada por los jueces.....	95
Figura N° 30 Superficie de respuesta para el atributo olor según el análisis sensorial realizada por los jueces.....	96
Figura N° 31 Rehidratación de los filetes de tilapia para los nueve tratamientos de secado evaluados.....	97

## INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 01	Composición proximal de la tilapia.....	29
Cuadro N° 02	Composición química tilapia fresca y procesada.....	47
Cuadro N° 03	Cantidad de sal y agua recomendadas para la preparación de soluciones saturadas.....	51
Cuadro N° 04	Ecuación de isotermas de sorción.....	55
Cuadro N° 05	Tratamiento de estudio.....	63
Cuadro N° 06	Actividad de agua de las soluciones salinas utilizadas para las isotermas de adsorción, temperaturas de 40, 50 y 60 °C	70
Cuadro N° 07	Biometría de los filetes de tilapia.....	73
Cuadro N° 08	Composición proximal del filete de tilapia fresco y deshidratado.....	74
Cuadro N° 09	Constantes de Isotermas de adsorción evaluadas para filetes de tilapia.....	76
Cuadro N° 10	Valores de difusividad calculadas por la ecuación de Fick para placa plana.....	86
Cuadro N° 11	Promedios ordenados en forma tendente, obtenidos del análisis sensorial para el atributo de apariencia general.....	90
Cuadro N° 12	Resultados ordenados en forma descendente de acuerdo a los promedios obtenidos en el análisis sensorial del atributo color.....	90
Cuadro N° 13	Resultados obtenidos en forma descendente de acuerdo a los promedios obtenidos en el análisis sensorial del atributo textura.....	91

Cuadro N° 14 Resultados ordenados en forma descendente de acuerdo a  
los promedios obtenidos en el análisis sensorial del atributo  
olor.....92

## RESUMEN

El presente trabajo busca determinar las condiciones de secado adecuadas mediante el estudio del comportamiento de su cinética, difusividad y velocidad de secado. Fue realizado en los laboratorios de Ingeniería, Análisis de los Alimentos y Control de Calidad de la Universidad Nacional de San Martín.

Para el secado se empleó un secador con regulación automática de temperatura y velocidad de aire de secado variable. Se evaluaron nueve tratamientos de secado para filetes frescos sin piel, a diferentes combinaciones de temperatura a 40, 50 y 60 °C con velocidades de aire de secado de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s.

Durante el proceso se observó el comportamiento de la pérdida de agua por evaporación en función del tiempo de secado (Cinética) hasta llegar a una humedad (b.h.) final de 8.5%. Se determinó la difusividad del agua presente en el filete de tilapia ajustando los valores experimentales de cinética de secado a la ecuación de Fick para placa plana, utilizando el programa MICROCAL ORIGIN 3.5, encontrándose una variación de la difusividad de  $3.14 \times 10^{-9}$  hasta  $9.05 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  para temperaturas entre 40 y 60 °C. Respecto a la velocidad de secado no se observó un periodo de velocidad constante, solo un periodo decreciente que demuestra que la velocidad de secado para los filetes de tilapia está gobernada por la difusividad.

El tratamiento de mejor aceptación fue determinado por un análisis sensorial, donde diez jueces evaluaron mediante una prueba afectiva (escala hedónica de cinco puntos de

calificación) el color, olor, textura y apariencia general de los filetes de tilapia deshidratados. El resultado de este análisis dio una mayor aceptación para el tratamiento a temperatura de 40 °C, con velocidad de secado de 1.1 m/s, para todos los atributos evaluados.

Las isotermas de adsorción para el filete de tilapia deshidratado fueron determinadas a temperaturas de 40, 50 y 60 °C empleando el método estático gravimétrico. La ecuación de GAB fue la que mejor reprodujo los valores experimentales, obteniéndose valores de coeficiente de determinación de 0.997, 0.996 y 0.998, para 40, 50 y 60 °C, respectivamente.

El análisis proximal para los filetes frescos y deshidratados, arrojó los siguientes valores: Humedad de 80.49%; proteínas, 17.38; lípidos, 1.13% y cenizas de 1 .0% para filete fresco y 8.49%, 81.52%, 5.30% y 4.69% respectivamente para los filetes de tilapia secos.



## ABSTRACT

The present work looks for to determine the drying conditions adapted by means of the study of the behavior of its kinetics, diffusivity and drying speed. It was carried out in the laboratories of Engineering, Analysis of the Foods and Quality Control of the National University of San Martin.

For the drying a dryer was used with automatic regulation of temperature and speed of air of drying variable. Nine drying treatments were evaluated for fresh fillets without skin, to different combinations of temperature to 40, 50 and 60 °C with speeds of air of drying of 0.5, 0.8 and 1.1 m/s.

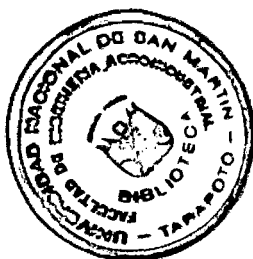
During the process the behavior of the loss of water was observed by evaporation in function of the time of drying (Kinetics) until arriving to a humidity (b.h.) final of 8.5%. The difusividad of the present water was determined in the tilapia fillet adjusting the experimental values of drying kinetics to the equation of Fick for badge page, using the program MICROCAL ORIGIN 3.5, being a variation of the difusividad of  $3.14 \times 10^{-9}$  up to  $9.05 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s for temperatures between 40 and 60 °C. Regarding the drying speed a constant, alone period of speed a falling period was not observed that it demonstrates that the drying speed for the tilapia fillets is governed by the difusividad.

The treatment of better acceptance was determined by a sensorial analysis, where ten judges evaluated by means of an affective test (it climbs hedonic of five qualification points) the color, scent, texture and general appearance of the fillets of dehydrated tilapia.

The result of this analysis gave a bigger acceptance for the treatment to temperature of 40 °C, with speed of drying of 1.1 m/s, for all the evaluated attributes.

The isotherms of adsorption for the fillet of dehydrated tilapia were determined to temperatures of 40, 50 and 60 °C using the method static gravimetric. The equation of GAB was the one that better it reproduced the experimental values, obtaining you values of coefficient of determination of 0.997, 0.996 and 0.998, for 40, 50 and 60 °C, respectively.

The analysis proximal for the fresh and dehydrated fillets, threw the following values: Humidity of 80.49%; proteins, 17.38; lipids, 1.13% and ashy of 1 .0% for fresh fillet and 8.49%, 81.52%, 5.30% and 4.69% respectively for the fillets of dry tilapia.



## I. INTRODUCCIÓN

La tilapia es una de las especies de peces más aceptadas en el mercado internacional. El mercado de la tilapia está en crecimiento, desde el año 1992 las importaciones de los EE.UU. han crecido unas quince veces, el crecimiento en el 2000 ha sido de 24% con respecto a 1999. Otros productos que ofrecen proteínas como la carne de res, muestran menores consumos debido a la idea que son menos saludables. Las poblaciones de países desarrollados tienden a ser más viejas, con lo cual prefieren con lo que respecta a carnes, las más blancas como la de pollo y pescado por ser más saludables. Actualmente se informa sobre cultivos de tilapia en más de 65 países a nivel mundial, estando la mayoría situados en los trópicos y subtrópicos.

En la Región San Martín se viene cultivando tilapia desde hace dos décadas atrás, por a su fácil adaptación al medio. San Martín constituye una de las principales zonas de producción acuícola a nivel nacional, gracias a la abundancia de recursos hídricos existentes y por eso el cultivo de tilapia en San Martín contribuye para su desarrollo.

La información de datos estadísticos sobre producción de tilapia en la Región es mínima porque este cultivo estuvo prohibido por espacio de nueve años, no obstante existió una producción ilícita que no figura en los archivos de la Dirección Regional de Pesquería. Actualmente con el decreto de suspensión de la prohibición y la autorización del cultivo de tilapia y la instalación de la Comisión Especial para el desarrollo de la acuicultura y la pesquería en San Martín mediante resolución N° 125-2001-PE, comisión encargada de promover, incentivar y buscar alternativas que permitan el desarrollo

sostenible de la tilapia y especies amazónicas de diversas zonas del departamento de San Martín. El cultivo de tilapia ofrece una serie de ventajas en comparación con las otras especies como costos de producción mas bajos, una rápida reproducción (alcanza su madurez sexual a los cuatro o cinco meses) y muy buena aceptación en el mercado que le permiten ser un cultivo altamente rentable.

Por todas estas razones se hace necesaria la búsqueda de técnicas, métodos de conservación y procesamiento adecuados para la tilapia que permitan retardar las reacciones de deterioro propias del pescado una vez sacrificado, por ser un producto altamente perecible, representando el secado una buena alternativa para la conservación de la tilapia. Los objetivos del presente trabajo fueron:

- Determinar las condiciones de secado adecuadas para los filetes de tilapia.
- Determinar el comportamiento de la cinética y velocidad de secado de los filetes.
- Determinar la difusividad aparente del agua durante el proceso de secado.
- Modelar y simular la cinética de secado de los filetes.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 MATERIA PRIMA

#### 2.1.1 Generalidades

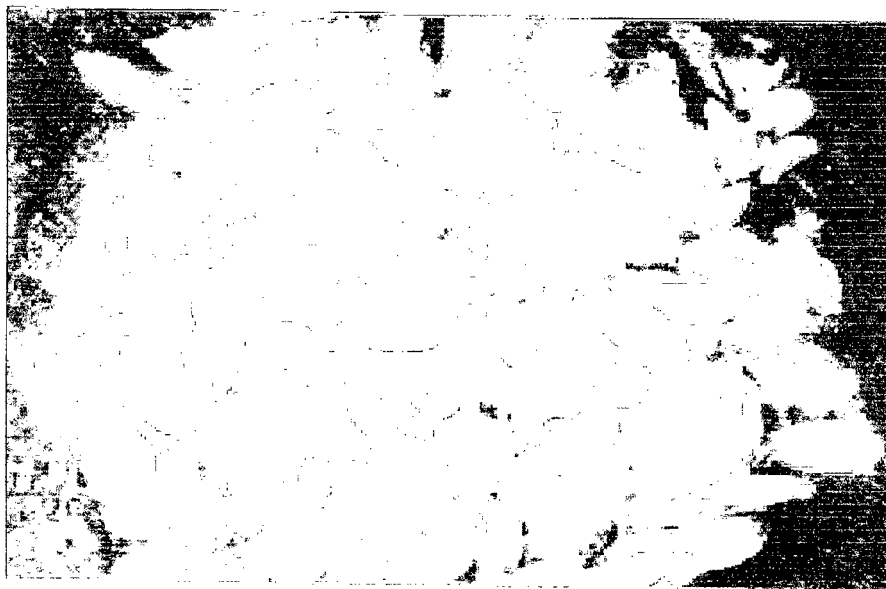
Los peces denominados genéricamente "tilapias" han suscitado y recibido, quizás, mayor atención que cualquier otro grupo de peces en todo el mundo (Avault, 1995). La tilapia, nombre común que en idioma "swahili", significa pez, incluye los géneros *Tilapia* y *Oreochromis* entre otros, con más de 100 especies, que son originarias de África; extendiéndose posteriormente hacia el norte de Israel y Jordania (Chimits, 1955). Luego de la Segunda Guerra Mundial, fueron introducidas desde su origen a varios países de Asia y América. Según Lin, en el año 1960 ya se encontraban introducidas en Haití, Estados Unidos, República Dominicana, Jamaica, Trinidad, Guayana Británica, El Salvador y Nicaragua en el Hemisferio Occidental y en Filipinas, Taiwán, Sri Lanka, Tailandia, en oriente (Wicki y Gromenida, 1997).

Por sus hábitos alimentarios, y por sus posibilidades de soportar condiciones adversas en cultivo, con amplia tolerancia y rápido crecimiento, parecieron ideales, en la década del '60, a los gobiernos de la región latinoamericana que impulsaron su introducción para su cultivo en estanques. Los objetivos apuntaban entonces al desarrollo de una piscicultura extensiva (a baja densidad) de bajo costo y para "autoconsumo", con la finalidad de mejorar la ingestión de proteína de alta calidad en las clases sociales de bajo poder adquisitivo. En la década del '80, comenzó el cultivo comercial de "tilapia nilótica" en Costa Rica,

sobre la base de producción intensiva en estanques con alto recambio de agua y a alta densidad de cultivo. Este emprendimiento utilizó tecnología de Israel. Tiempo después, se inicia la actividad comercial en Colombia con cultivo de "tilapia roja", a partir de tecnología israelí adaptada a ese país.

La producción mundial de tilapia, se ha incrementado en los últimos años en virtud a que estos peces son aceptados favorablemente por los consumidores tanto para fines de autosuficiencia, así como para cultivos comerciales, gracias a la calidad de su carne ya que son organismos que se pueden cultivar bajo diferentes sistemas de producción. En México se cosechan anualmente 94 279 toneladas de tilapia, de las cuales solo 828 toneladas son cultivadas, el resto de las tilapias se capturan en embalses naturales y artificiales (SEMARNAP, 1996). En otros países como Israel, la mayor producción de tilapia es de cultivo y es muy superior que en el caso de México, a pesar de que México tiene muchos más recursos hidrológicos que Israel; en ese país la producción de tilapia alcanzó las 5 040 toneladas en 1995, lo cual representó el 36.7% del total de producción de peces cultivados y comercializados ese año. También cabe resaltar que de 1986 a 1995 la producción de tilapia en Israel, ha incrementado en un 56% a pesar de que la superficie destinada a acuicultura ha disminuido ligeramente en virtud a su programa de optimización del uso del agua (Sarig, 1995). En EUA también la producción y consumo de tilapia ha aumentado de manera importante, en 1995 se produjeron 6 800 toneladas de tilapia, 16% más que en 1994 y el consumo nacional de tilapia fue mayor que su producción doméstica, por lo cual tuvieron que importar 24 000 toneladas de ese pez de países tan distantes como Taiwan, con un valor de dichas importaciones de 34 millones de dólares (Sickney, 1996).

El desarrollo de la tilapicultura en el mundo en los próximos años, se sustentará en la adopción de tecnología moderna para aumentar la producción



**Figura N° 01: Alevines de tilapia.**

por unidad de superficie y una parte muy importante de dicha tecnología debe estar encaminada al mejoramiento genético de las principales especies cultivadas, sobre tres aspectos: Selección para coloraciones rojas o claras; mejora en las ganancias de peso y control de la reproducción excesiva.

### **2.1.2 Clasificación taxonómica**

La clasificación taxonómica de la tilapia se define como sigue:

Reino	: Cichlidae
División	: Oreochromis
Clase	: sp
Orden	: Tilapia

### **2.1.3 Datos ambientales**

#### **2.1.3.1 Rango térmico para cultivo**

Las tilapias son peces de origen tropical, por lo que sus mejores crecimientos se obtienen a temperaturas entre 34 y 36 °C, no afectándolas las bajas concentraciones de oxígeno disuelto existentes en estas condiciones.

No es posible cultivarlas en regiones donde las temperaturas invernales sean menores a 15° C, en cultivos a cielo abierto. Esta limitante convierte a las tilapias en especies potencialmente aptas para cultivo en las zonas de mayores temperaturas de nuestro país, entre los paralelos 22 y 28° de latitud sur para ciclo completo y hasta aproximadamente 30°, únicamente para la fase correspondiente al engorde hasta llegar al peso exigido por el mercado; siempre teniendo en cuenta la observación de registros de temperaturas, de acuerdo a las diferentes altitudes existentes sobre el nivel del mar (Wicki y Gromenida, 1997).

#### **2.1.3.2 Terrenos aptos**

Los suelos de limo o arcilla, o una mezcla de ambos, con una pequeña proporción de arcilla en su contenido son los ideales para la construcción de estanques. El sitio seleccionado debe mostrar una ligera pendiente natural, de manera que los cerramientos puedan vaciarse por gravedad.

No se recomienda construir estanques en zonas inundables, zonas de suelos ácidos, arenosos o rocosos o zonas donde se efectúen aplicaciones de agroquímicos en las inmediaciones.



Los suelos con más de 60% de arcilla tienden a resquebrajarse al momento del secado de los estanques, originando filtraciones posteriores.

Las muestras para analizar el suelo deben ser tomadas hasta una profundidad mayor al metro con el objeto de obtener sus características físicas y químicas.

#### **2.1.3.3. Fuente de abastecimiento de agua**

Debe asegurarse el suministro en cantidad suficiente para el llenado de los estanques, reposición de las pérdidas que ocasiona la evaporación y filtración, y seguridad de un recambio adecuado.

Por su calidad física, química, microbiológica y ausencia de predadores se considera al agua de pozo como la más idónea para los cultivos acuáticos, siempre y cuando se tome la precaución de oxigenarla antes de su entrada al estanque. Las características del agua de abastecimiento son:

##### **2.1.3.3.1 Temperatura**

Máxima:	36°C.
Mínima:	18°C.
Óptima:	Entre 34 y 36°C.

##### **2.1.3.3.2 Oxígeno Disuelto**

Mínimo:	Menor a 2 ppm (partes por millón) a la salida del estanque.
Óptimo:	Mayor al 75% de saturación a la entrada del mismo.

### **2.1.3.3.3 Otras características**

PH:	Rango aceptable 6.5 a 8.5
Alcalinidad total:	100 a 200 mg/l.
Dureza total:	20 a 350 mg/l.P
Nitritos:	Menor a 0.1 mg/l.
Nitratos:	Menor a 10 mg/l.

### **2.1.4 Cultivo**

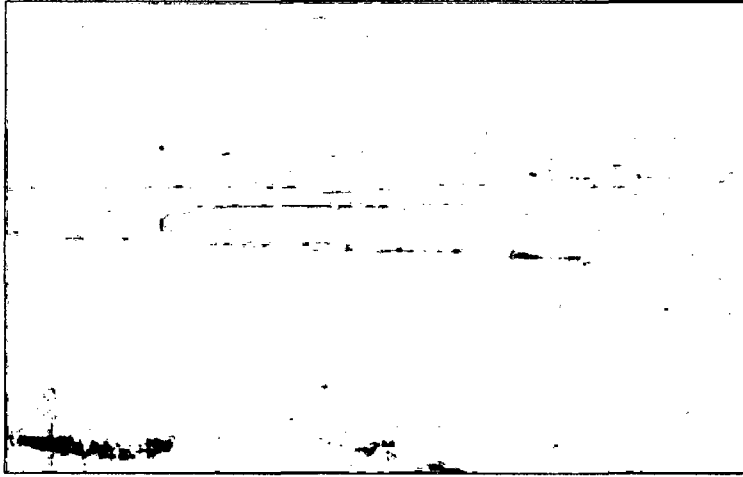
#### **2.1.4.1 Sistema de Cultivo.**

Actualmente, los cultivos comerciales son realizados en sistemas que abarcan la modalidad extensiva, la semiintensiva y la intensiva en cerramientos tipo estanques excavados en tierra para cualquiera de ellas o en jaulas suspendidas en cuerpos de agua, en sistema intensivo. En todos estos casos, se trabaja con poblaciones monosexo macho, revertidas por hormona durante los primeros 30 días de alimentación en cultivo, hasta alcanzar una longitud total de 17 a 20 mm.

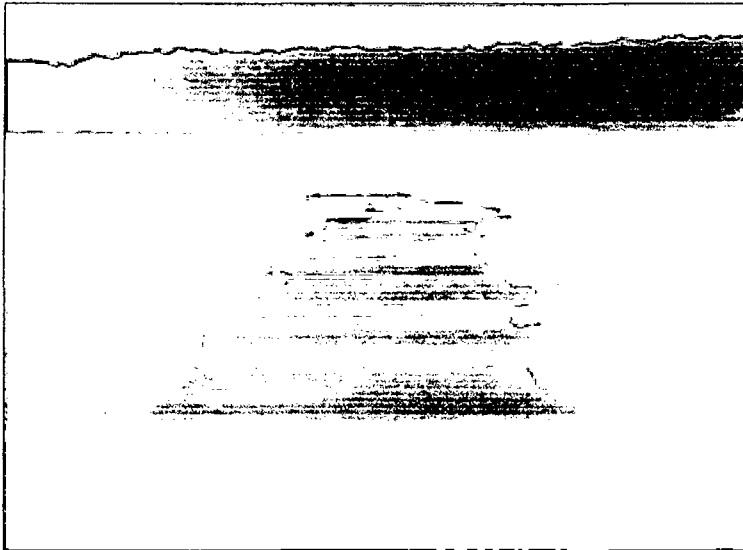
En sistemas extensivos se obtienen cosechas de 200 a 500 Kg. por hectárea/ciclo, sin aporte de alimento externo; mientras que en sistemas semiintensivos se cosechan entre 4 000 a 10 000 Kg. por hectárea por ciclo dependiendo de la calidad del alimento utilizado y de la temperatura del agua. (Popma y Lovshin, 1994). En sistemas intensivos en estanques, con aireación suplementaria y recambio parcial de agua (2 o más veces al día), se obtienen cosechas de más de 20 000 Kg. por hectárea. En esta misma modalidad, y utilizando jaulas suspendidas de bajo volumen (en cuerpos de agua apropiados) los

rendimientos están comprendidos entre 50 y 300 Kg/m<sup>3</sup>. (Popma y Lovshin, 1994).

En la figura N° 02 se muestran estanques para cultivo de tilapias.



**Figura N° 02: Estanques para cultivo de tilapias.**



**Figura N° 03: Sistema de cultivo en jaulas suspendidas.**

El cultivo de peces en jaulas se ha difundido ampliamente en las últimas décadas, pudiéndose cultivar esta especie bajo esta modalidad. En el sudeste asiático se cultiva también en corrales cerrados dentro de espejos de agua

Sus principales ventajas son: producción de alta densidad, no utilización de terrenos dedicados a la agricultura, menor inversión y menores costos operativos en comparación con los módulos desarrollados en tierra. El sistema de cultivo en jaulas suspendidas es mostrado en la figura N° 03

#### **2.1.5. Composición proximal de la tilapia**

La composición química de los peces varía considerablemente entre las diferentes especies y también entre individuos de una misma especie, dependiendo de la edad, sexo, medio ambiente y estación del año. Las variaciones en la composición química del pez están estrechamente relacionadas con la alimentación, nado migratorio y cambios sexuales relacionados con el desove. El pez tiene períodos de inanición por razones naturales o fisiológicas (como desove o migración) o bien por factores externos como la escasez de alimento.

Se considera que el factor de mayor impacto en la composición química del pez es la composición de su alimento. El acuicultor está interesado en hacer crecer el pez lo más rápido posible empleando la menor cantidad de alimento, dado que el alimento constituye el mayor componente del costo en acuicultura. El potencial de crecimiento es mayor cuando el pez es alimentado con una dieta rica en lípidos, para propósitos energéticos, y alto contenido de proteínas con una composición balanceada de aminoácidos.

El conocimiento de la composición química del pescado "in natura", además del aspecto nutricional es punto importante en el aspecto tecnológico. La composición química aproximada de la tilapia, publicada por algunos autores, se presenta en el Cuadro N° 01: Composición proximal de la tilapia.

**Cuadro N° 01: Composición proximal de la tilapia.**

Humedad	Proteínas	Lípidos	Cenizas	Fuente
76.62	17.07	3.57	2.33	Sales (1995)
75.19	19.75	2.69	1.49	Henao (1988)
75.71	16.03	3.72	1.11	Zapata et. al. (1986)

Fuente: Medina (1998)

Según Stansby, 1962 citado por Medina (1998), la composición química del pescado presenta variaciones significativas entre especies, como también entre peces de la misma especie, los factores importantes para esta variación son: Área geográfica, diferencia entre sexos, tamaño, alimentación, madurez sexual, estación del año, etc.

Freitas et al. (1979), citado por Medina (1998), estudiando la composición química de tilapia del Nilo verificó una variación no muy acentuada en los contenidos de ceniza (0.7 – 3.1 %), estando las mayores variaciones entre los contenidos de proteína, donde casi todas las especies presentaron valores diferentes (14.3 – 21.1 %), pudiendo la tilapia del Nilo ser considerada como pez magro de alto contenido proteico, así mismo Medina (1998), menciona que Junk, (1985), relató fluctuaciones estacionales pronunciadas en los contenidos de lípidos (2-12%) y de humedad (72-80%) para un híbrido de tilapia. Desde un punto de vista nutricional el pez y los productos de la pesca proporcionan proteína de excelente calidad nutritiva cuando es evaluada en base a su contenido de aminoácidos esenciales (Neilands et. al., 1949; Bertullo, 1985, citados por Medina, 1998).

Sales (1995), citado por Medina (1998), trabajando en el proceso de hidrolizado proteico de la tilapia encontró los siguientes valores medios, en g/16g de N, para hidrolizado proteico nuevo: Triptófano, 1.06 (0.963); histidina, 2.20 (1.29); metionina, 3.05; treonina 4.35 (1.24); fenilalanina, 4.36; valina 5.25; isoleucina, 5.64 (1.34); arginina, 8.35; leucina, 9.27 (1.31) y lisina 9.9 (1.49). Los valores presentados entre paréntesis indican, en relación a la proteína de referencia o padrón, el orden de los aminoácidos limitantes en la proteína en estudio, siendo el valor encontrado para el aminoácido más limitante un estimado del valor biológico o nutritivo de la proteína lo que se denomina score químico (SQ), así el SQ del hidrolizado proteico nuevo de tilapia es de 96.3 siendo el del maíz de 43.1 y de la caseína 115.30 (Sales, 1995, citado por Medina). Otro componente importante es el aceite de pescado, que tiene una proporción más elevada de ácidos grasos insaturados. La calidad de esa grasa en la alimentación es muy importante porque influye en la concentración del colesterol de la sangre; según Dam & Lund (1962), citado por Medina, el colesterol de la sangre puede reducirse mediante la ingestión de grasas ricas en ácidos grasos insaturados.

Entre los alimentos de origen animal el pescado se destaca como uno de los más susceptibles al proceso de deterioro, innumerables factores contribuyen para eso, rápida acción destructora de enzimas, oxidación de lípidos, pH elevado, elevada actividad de agua y contenidos elevados de sustancias nitrogenadas no proteicas (Leitao et al; 1983, citado por Medina, 1998), en estas condiciones es imprescindible la adopción de medidas que aseguren la perfecta conservación del pescado, inmediatamente después de la captura.

## **2.2 SECADO**

El secado es un proceso de separación en donde se elimina la humedad de un sólido mediante transferencia de masa y/o calor. Una parte importante en la elección del método de secado consiste principalmente en conocer las propiedades de los sólidos a secar. Para los casos de los alimentos es muy importante conocer la temperatura de descomposición y el contenido de humedad en donde los microorganismos no pueden actuar y las enzimas son desactivadas (Geankoplis 1998).

### **2.2.1 Tipos de secado**

Ocon-Tojo (1980), mencionan que existen dos tipos de secado:

#### **2.2.1.1 Secado directo.**

Es aquel que se da por contacto directo entre el aire de secado y el material a secar, el calor necesario para la vaporización del agua lo suministra el aire.

El secado directo puede ser efectuado de modo discontinuo o continuo. En el método discontinuo, una vez cargado el secadero, se hace circular el aire de secado y se supone que sus condiciones permanecen constantes en el tiempo, mientras que en el método continuo tanto la alimentación del sólido a secar como el aire entran continuamente en el secadero, variando a través del mismo las condiciones del aire y sólido a secar.

#### **2.2.1.2. Secado indirecto**

En este tipo de secado el calor se suministra por una fuente térmica a través de una superficie metálica en contacto con el objeto a secar.

#### **2.2.2. Estática de secado**

##### **2.2.2.1 Humedad**

El contenido en humedad de un sólido puede expresarse sobre base seca o base húmeda. En los cálculos de secado resulta más conveniente referir la humedad a base seca, debido a que permanece constante a lo largo del proceso de secado.

##### **2.2.2.2 Humedad de equilibrio**

Cuando un sólido húmedo se pone en contacto, durante tiempo suficiente, con aire de temperatura y humedad determinadas constantes (suponiendo que la cantidad de aire es lo suficientemente grande para que sus condiciones no varíen con el tiempo de contacto) se alcanzarán las condiciones de equilibrio entre el aire y sólido húmedo.

##### **2.2.2.3 Cuerpos húmedos y cuerpos higroscópicos**

Para una temperatura determinada, la presión de vapor del agua contenida en el sólido húmedo aumenta con su humedad para todas las sustancias, hasta alcanzar la tensión de vapor del agua pura a la temperatura considerada. Cuando la presión de vapor del agua que acompaña al sólido es menor que la tensión de vapor del agua a la misma temperatura, se dice que el sólido es higroscópico, recibiendo el nombre de sólido húmedo cuando la presión del vapor del agua que acompaña al sólido es igual a la tensión de vapor de agua a esa temperatura.



#### **2.2.2.4 Humedad libre**

Se denomina humedad libre de un sólido, con respecto al aire en condiciones determinadas, a la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad de equilibrio con el aire en las condiciones dadas:  $F = X - X^*$ . Por consiguiente, es la humedad que puede perder el sólido después de un contacto suficientemente prolongado con el aire en condiciones dadas y constantes, y depende tanto de la humedad del sólido como de la humedad relativa del aire.

#### **2.2.2.5 Humedad ligada o agua ligada**

Es el valor de la humedad de equilibrio del sólido en contacto con aire saturado; o bien la humedad mínima del sólido necesaria para que este deje de comportarse como higroscópico.

#### **2.2.2.6 Humedad desligada o agua desligada**

Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada; o bien la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado. Es evidente que si el sólido tiene humedad desligada se comportará como húmedo.

#### **2.2.3 Cinética de secado**

Se define la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial  $(-dX/dt)$  operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperatura, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo.

Analíticamente, la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación:

$$M = \frac{S}{A} \left[ \frac{-dx}{dt} \right] \quad (1)$$

Siendo:

S = peso de sólido seco.

A= área de la superficie expuesta.

M= velocidad de secado.

## **2.2.4. Curvas de velocidad de secado**

### **2.2.4.1 Introducción y métodos experimentales**

Para reducir el contenido de humedad en el secado de diversos materiales de proceso, por lo general se estima el tamaño del secador necesario, las diferentes condiciones de operación de humedad y la temperatura del aire empleado, y el tiempo necesario para lograr el grado de secado. No es posible predecir el contenido de humedad de equilibrio de diversos materiales, por lo que es necesario determinarlo por vías experimentales. De la misma manera, puesto que el conocimiento de los mecanismos básicos de las velocidades de secado es bastante incompleto, en muchos casos es indispensable obtener algunas mediciones experimentales de las velocidades de secado.

### **2.2.4.2 Determinación experimental de la velocidad de secado**

Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material, se procede a colocar una muestra en una bandeja. Si se trata de material sólido se debe llenar por completo la base de la bandeja, de manera que sólo quede expuesta a la

corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida en peso durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja de una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire de secado.

Al realizar experimentos de secado por lotes, deben tomarse ciertas precauciones para obtener datos útiles en condiciones que se asemejen lo más posible a las que imperarán en operaciones a gran escala. La muestra no debe ser demasiado pequeña y se debe introducir en una bandeja similar a la que se usará en producción. La relación entre superficie de secado y superficie de no secado (superficie aislada) así como la profundidad del lecho del sólido deben ser idénticas. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser las mismas y constantes para simular un secado en condiciones constantes.

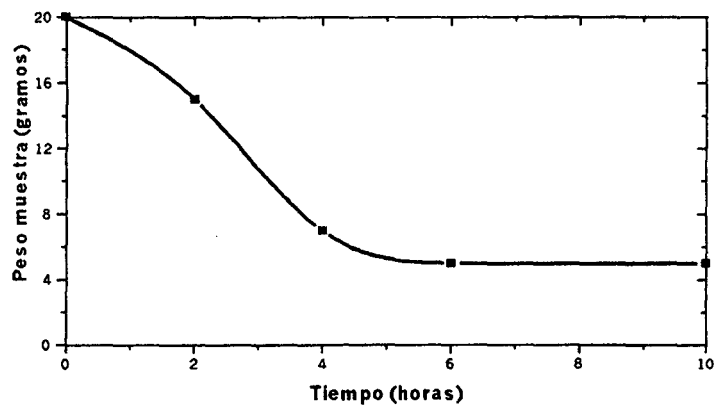
#### **2.2.4.3 Conversión de los datos a curva de velocidad de secado**

Los datos que se obtienen de un experimento de secado por lotes, generalmente se expresan como peso total  $W$  del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos de  $t$  horas en el periodo de secado. Estos valores se pueden convertir a datos de velocidad de secado por el siguiente procedimiento, recalcular los datos. Si  $W$  es el peso del sólido húmedo en kilogramos totales de agua más sólido seco y  $W_s$  es el peso del sólido seco en kilogramos, tendremos que:

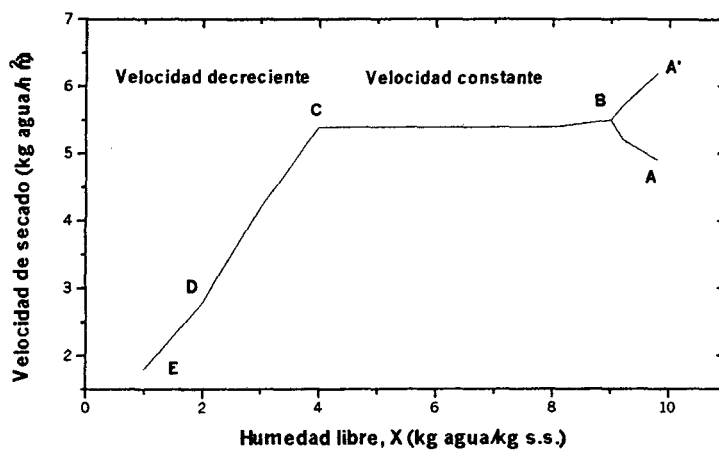
$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \frac{\text{Kg totales de agua}}{\text{Kgsolido seco}} \left( \frac{\text{lb totales de agua}}{\text{lb solido seco}} \right) \quad (2)$$

Después de haber establecido las condiciones de secado constante, se determina el contenido de humedad de equilibrio,  $X^*$  kg de humedad de equilibrio/kg de sólido seco. Con él se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre  $X$  en kg de agua libre/kg de sólido seco para cada valor de  $X_t$ .

$$X = X_t - X^* \quad (3)$$



(a)



(b)

**Figura N° 04: Curva típica de velocidad de secado constante: a) gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo, b) curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.**

#### 2.2.4.4 Gráfica de la curva de velocidad de secado

En la figura N° 04 se muestra la curva de velocidad de secado para condiciones de secado constante. Empezando en el tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Inicialmente, el sólido suele estar a una temperatura inferior de la que tendrá al final, y la velocidad de evaporación va en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al iniciar la operación, la velocidad de secado puede comenzar en un punto A'. Este periodo inicial de ajuste en estado no estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado.

La curva de la figura N° 04 (a), es recta entre los puntos B y C, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este periodo de velocidad constante de secado corresponde a la línea BC en la figura N° 04 (b). En el punto C de ambas gráficas, la velocidad de secado comienza a disminuir en el periodo de velocidad decreciente, hasta llegar al punto D. En este primer periodo de velocidad decreciente, la velocidad corresponde a la línea CD en la figura 04 (b), y por lo general es lineal.

En el punto D la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto E, donde el contenido de humedad de equilibrio es  $X^*$ , y  $X = X^* - X^* = 0$ . En el secado de algunos materiales, la región CD no existe, o bien, constituye la totalidad del periodo de velocidad decreciente.

#### **2.2.4.5 Secado durante el periodo de velocidad constante**

El secado de diversos sólidos bajo diferentes condiciones constantes de secado casi siempre produce curvas de forma variable en el periodo de velocidad decreciente, pero en general siempre están presentes las dos zonas principales de la curva de velocidad de secado: el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente.

Durante el primer periodo, la superficie del sólido está muy mojada al principio y sobre ella hay una película de agua continua. Esta capa de agua es agua no combinada y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación con las condiciones establecidas para el proceso, es independiente del sólido y esencialmente igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura. Sin embargo, las ondulaciones y hendiduras en la superficie del sólido ayudan a obtener una velocidad más alta de la que tendría una superficie completamente plana.

Si el sólido es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene de su interior. Este periodo continúa mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora. La evaporación durante este periodo es similar a la que existe cuando se determina la temperatura de bulbo húmedo, y en ausencia de transferencia de calor por radiación o conducción, la temperatura de la superficie equivale en forma aproximada a la temperatura de bulbo húmedo.

#### **2.2.4.6 Secado durante el periodo de velocidad decreciente.**

El punto C de la figura N° 04 (b) corresponde al contenido crítico de humedad libre  $X_C$ . En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La superficie ya no está totalmente mojada, y la porción mojada comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie queda seca en su totalidad en el punto D de la figura N°04 (b).

El segundo periodo de velocidad decreciente empieza en el punto D, cuando la superficie está seca en su totalidad. El plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El calor de evaporación se transfiere a través del sólido hasta la zona de vaporización. El agua evaporada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire.

En algunos casos no hay discontinuidad definida en el punto D, y el cambio de condiciones de secado de una superficie con humedad parcial a una superficie completamente seca, es tan gradual que no se detecta un punto de inflexión.

#### **2.2.4.7 Movimientos de humedad en los sólidos durante el secado en el periodo de velocidad decreciente**

Cuando el secado se verifica por evaporación de la humedad del área expuesta del sólido, la humedad se desplaza desde el interior del sólido hasta la superficie. Los mecanismos de este movimiento afectan al secado durante los periodos de velocidad constante y de velocidad decreciente. A continuación se analizan brevemente algunas teorías para explicar los diversos tipos de curvas de velocidad decreciente.



#### 2.2.4.8 Teoría de la difusión del líquido

De acuerdo con esta teoría, la difusión de la humedad líquida se verifica cuando existe una diferencia de concentración entre el interior del sólido y la superficie. Este método de transporte de humedad casi siempre se presenta con sólidos no porosos, en los que se forman soluciones de una sola fase con la humedad, como en una pasta, un jabón, una gelatina y pegamento. También es el caso del secado de las últimas porciones de humedad en arcillas, harinas, madera, cuero, papel, almidones y textiles. En el secado de muchos materiales alimenticios, el movimiento del agua durante el periodo de velocidad decreciente se verifica por difusión.

Las formas de las curvas de distribución de la humedad en el sólido a diferentes tiempos concuerdan cualitativamente con las ecuaciones de difusión en estado estacionario. La difusividad de la humedad  $D_{AB}$  casi siempre disminuye al reducirse el contenido de ésta, por lo que las difusividades suelen ser valores promedio en el intervalo de concentraciones considerado. Se dice entonces, que los materiales se secan de esta manera por difusión, aunque los mecanismos reales pueden ser bastante complicados. Puesto que la velocidad de evaporación de la superficie es bastante rápida, esto es, la resistencia es muy baja en comparación con la velocidad de difusión a través del sólido en el periodo de velocidad decreciente, el contenido de humedad en la superficie tiene un valor de equilibrio.

La forma de una curva controlada por difusión durante el periodo de velocidad decreciente, es similar a la de la figura N° 04 (b). Si el secado inicial de velocidad constante es considerable, es posible que no exista el primer periodo de velocidad

decreciente con evaporación de una superficie no saturada. Si el secado a velocidad constante es bajo, el periodo de evaporación superficial no saturada suele presentarse en la región CD de la figura N° 04 (b), y la curva controlada por difusión corresponde a la región DE.

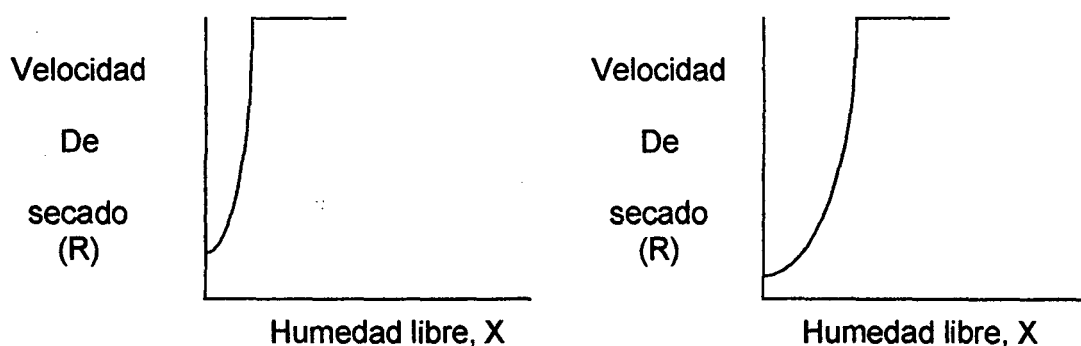
#### **2.2.4.9 Movimiento capilar en los sólidos porosos**

Cuando se están secando sólidos granulares y porosos como arcillas, arena, tierra, pigmentos para pinturas y minerales, la humedad libre o sin combinar se desplaza a través de capilares y espacios vacíos de los sólidos por acción capilar, y no por difusión. Este mecanismo, en el cual interviene la tensión superficial, es similar al desplazamiento del combustible en la mecha de un quinqué portátil.

Un sólido poroso contiene poros y canales interconectados de diversos tamaños. A medida que se evapora el agua, se forma un menisco de líquido en cada poro en el interior del sólido. Esto origina las fuerzas capilares por la tensión interfacial entre el agua y el sólido. Estas fuerzas constituyen el impulso para desplazar el agua a través de los poros hasta la superficie. Los poros pequeños desarrollan fuerzas mayores que los poros más grandes.

Al principio del periodo de velocidad decreciente en el punto C de la figura 05 (b), el agua es llevada hasta la superficie por acción capilar, pero la capa superficial de agua comienza a hundirse en el sólido. Al suceder esto, penetra aire para llenar los espacios vacíos. Al eliminarse agua de manera continua, se llega a un punto donde no hay suficiente agua para mantener una película continua en todos los poros, y la velocidad de

secado disminuye repentinamente al principio del segundo periodo de velocidad decreciente en el punto D. Entonces, la velocidad de difusión del vapor de agua en los poros y la velocidad de conducción de calor en el sólido, pueden llegar a ser los factores principales en el secado.



**Figura N° 05: Curvas típicas de velocidad de secado: a) periodo de velocidad decreciente controlado por difusión, b) periodo de velocidad decreciente controlado por capilaridad en un sólido de poros finos.**

En los poros finos de los sólidos, la curva de velocidad de secado en el segundo periodo de velocidad decreciente puede seguir la ley de difusión y la curva resulta cóncava hacia arriba, tal como lo muestra la figura N° 05 (b). En sólidos muy porosos, tales como un lecho de arena, donde los poros son grandes, la curva de velocidad de secado en el segundo periodo de velocidad decreciente suele ser recta y, por tanto, las ecuaciones de difusión no son aplicables.

### **2.2.5 Secado de pescado**

Burgess (1979), respecto al bacalao salazonado y desecado menciona que la salazón del pescado blanco, especialmente del bacalao, precede normalmente a su

desección; el contenido acuoso del pescado fresco abierto y salazonado tiene que reducirse desde aproximadamente el 58% ó 59% hasta un contenido acuoso comprendido entre el 35% y el 43% dependiendo del producto y del mercado particular a que se destine.

Esta forma de desecar el bacalao y especies afines constituye con mucho (aparte de la fabricación de harina de pescado), la aplicación más importante de la desecación en la conservación de pescado en todo el mundo.

Según Burgess (1979), el método tradicional de desecación consiste en exponer el pescado al sol y al viento, dejándolo bien sobre rocas apropiadas en los curaderos, o sobre colgaderos denominados "*flakes*" en Gran Bretaña. Estos consisten en entramados de largas vigas de madera o plataformas de tela metálica levantadas sobre el terreno para que el aire circule libremente. Este método no sólo es lento sino que además el pescado queda a merced de las condiciones climatológicas; si el sol calienta demasiado y no hace viento, el pescado puede sufrir la quemadura solar -es decir, que queda cocido- y por tanto blando y pulposo. Por otra parte, el pescado tiene que recogerse y disponerse en pilas cubiertas tan pronto como amenace tiempo húmedo o lluvioso. El elevado coste de la mano de obra que exige ha forzado a los curadores, particularmente en Canadá y Gran Bretaña, a sustituir la desecación natural al aire libre por la desecación artificial.

Burgess (1979), también menciona que la forma más simple de secadero consiste en una habitación en la que el pescado se cuelga en perchas o caballetes sobre hogueras a veces de carbón. Estas crean una corriente al mismo tiempo que calientan el aire con lo

que éste admite más vapor de agua. Aunque aún se usa, este proceso es lento y poco eficaz siendo por ello en la actualidad más frecuente el uso de secaderos mecánicos especialmente diseñados. Muchos de los secaderos en uso han sido diseñados por ingenieros que no poseen el debido conocimiento de las condiciones óptimas requeridas para desecar pescado salazonado. En Canadá, no obstante, donde la salazón y desecación del bacalao constituyen una industria importante, los investigadores del Gobierno han hecho las recomendaciones y comentarios que se exponen seguidamente. Estas no han sido objeto de ensayo bajo las condiciones británicas.

- (1) Las velocidades del aire sobre el pescado más apropiadas se hallan comprendidas entre 60 y 90 metros por minuto. La desecación es más lenta a menores velocidades del aire y no es mucho más rápida a mayores velocidades del aire, pudiendo suponer las últimas un pesado coste de energía.
- (2) La temperatura del aire más adecuada en el secadero es de 25 °C no debiendo permitirse nunca que se salga del margen de 15 a 27 °C. A 32 °C la desecación es ligeramente más rápida, pero el pescado se cuece. A temperaturas inferiores la desecación es más lenta.
- (3) La humedad relativa del aire del secadero debe ser del 50 % al 55 %. Algunos modernos secaderos canadienses se hallan dotados de sistemas automáticos de control de la humedad.



- (4) La desecación excesivamente lenta al comienzo del proceso determina la formación en el pescado de cristales de sal duros y punzantes.
- (5) La velocidad de desecación disminuye progresivamente durante las primeras seis a diez horas y durante este intervalo de tiempo se forma sobre la superficie una costra de sal. En tal momento conviene retirar el pescado del secadero y apilarlo en montones. La presión a que se halla sometido el pescado apilado hace que el agua del centro del pescado situado en las capas inferiores salga al exterior y humedezca la costra, con lo cual la subsiguiente desecación es más rápida hasta que la costra se seque nuevamente. Incluso los ejemplares de pescado de mayor tamaño y gruesos pueden desecarse en unas 40 horas si se apilan dos o incluso tres veces.
- (6) En atmósferas con humedades relativas superiores al 76 % la sal sólida, y por consiguiente el pescado salazonado y desecado, absorbe agua. En tales condiciones el pescado salazonado y desecado se altera.

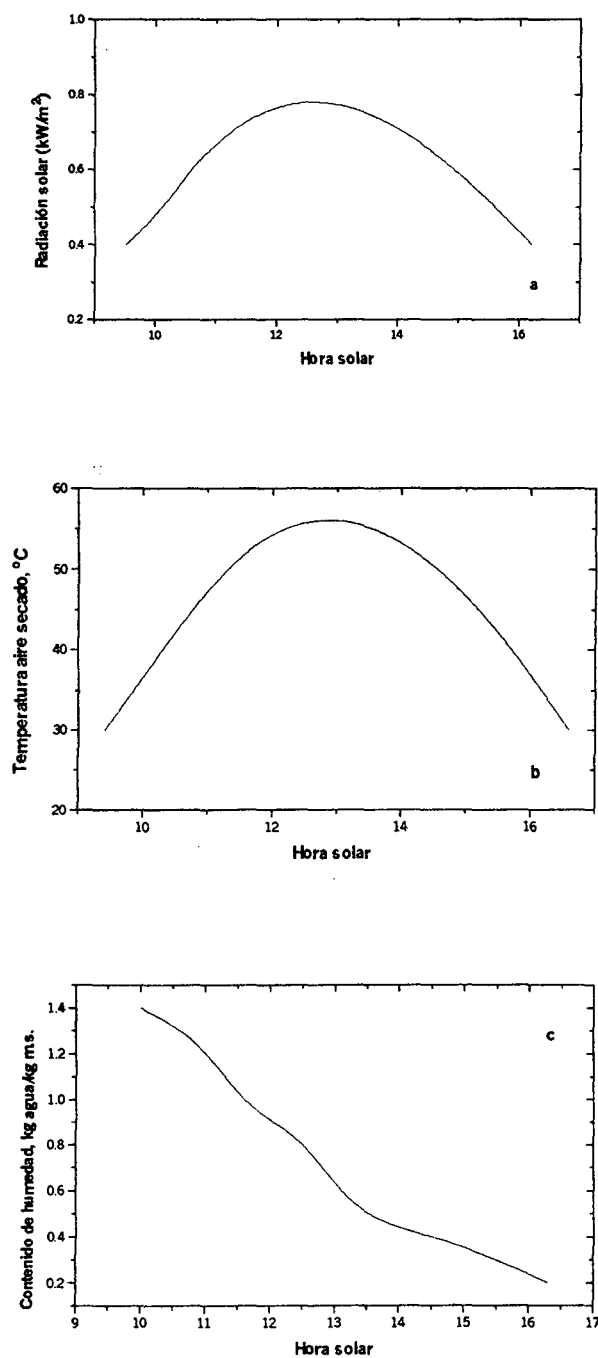
Mendieta y Medina (1993) reportaron el salado y secado solar de filetes de tilapia (*Oreochromis sp.*). El pescado, en óptimas condiciones de frescura fue descamado y fileteado. Luego se colocó los filetes en salmuera saturada preparada con un peso de sal equivalente al 40% del peso de los filetes.

**Cuadro N° 02: Composición química tilapia fresca y procesada.**

Componente	Porcentaje (%)	
	Fresca	Procesada
Humedad	80.0	25.0
Proteína (N x 6.25)	17.3	37.0
Grasa	2.0	4.3
Ceniza	0.7	33.7
Cloruro de sodio	--	32.2

Fuente: Mendieta y Medina (1993)

El secado de la tilapia salada, fue realizado en un secador solar de cabina con circulación del aire por convección natural. Las variaciones en el contenido de humedad fueron controladas mediante pesadas con intervalos de una hora. La temperatura del aire de secado se determinó mediante psicrómetros instalados en la cabina del secador. El producto final fue colocado en bolsas de polietileno y almacenado en condiciones ambientales. Los resultados de la composición química proximal de la materia prima se presentan en el Cuadro N° 02.



**Figura N° 06: Variación del contenido de la radiación solar, temperatura del aire en la cámara de secado y humedad de los filetes de tilapia.**

Fuente: Mendieta y Medina (1993)



En la Figura N° 06 se muestra el proceso de secado de la tilapia salada en el secador solar de cabina. En las Figuras a, b y c se representa la radiación solar incidente sobre el plano del colector, la temperatura del aire en el interior de la cámara de secado y la variación del contenido de humedad en función de la hora solar. La circulación del aire en el interior del secador se debió a la convección natural. (Mendieta y Medina, 1993)

## **2.3 ISOTERMAS DE SORCION**

Una isoterma de sorción, es la curva que indica, en el equilibrio y para una temperatura determinada, la cantidad de agua retenida por un alimento en función de la humedad relativa de la atmósfera que lo rodea; o, si se quiere e inversamente, la presión parcial de vapor ejercida por el agua del alimento en función del contenido de agua en el mismo (Cheftel, 1992).

### **2.3.1 Isotermas de adsorción y estado del agua en los alimentos**

Existen por lo menos dos regiones diferentes de las isotermas de sorción de los alimentos:

#### **2.3.1.1 Agua fuertemente ligada**

En la cual la actividad de agua está comprendida entre 0 y 0.2 ó 0.3; en esa región de las isotermas existe una capa monomolecular de agua fija a los grupos polares de ciertos compuestos  $\text{NH}_3^+$  y  $\text{COO}^-$  de las proteínas y de los grupos  $\text{OH}^-$  de los almidones.

Esta agua no está disponible para actuar como disolvente o reactivo.

### **2.3.1.2 Agua débilmente ligada y agua libre**

Son sucesivas capas de agua, esta agua representa la mayor parte de la esfera de hidratación de los constituyentes solubles (proteínas, sales, etc.).

Un dato muy importante es que en todas las regiones de la isoterma, a pesar de actividades de agua tan bajas como las regiones de 0.3 – 0.2, el agua presenta sus propiedades habituales o, dicho de otra forma, está disponible tanto como disolvente y como reactivo.

El agua libre representa la mayor parte del agua de los alimentos frescos o elaborados (Cheftel, 1992).

El conocimiento de la dependencia de la temperatura y el fenómeno de sorción provee una información esencial para el reconocimiento de la energía del sistema. La variación de la actividad de agua con la temperatura debe ser determinada por técnicas calorimétricas, o de forma directa usando isothermas de adsorción de agua y de aquí interpretar en términos de calor isostérico de sorción (Iglesias y Chirife, 1976; citado por Mc Minn y Magee, 1999).

Mc Minn y Magee (1999), estudiaron el efecto de la temperatura sobre la humedad relativa de equilibrio y valores de varias soluciones de sales usando el método de medida de la presión de vapor (VPM), y la correspondiente correlación de ecuaciones establecidas. La cantidad de sales recomendadas para la preparación de soluciones

saturadas se muestran en el cuadro N°03. se debe tener cuidado de colocar la sal hasta que la solución quede completamente saturada (Wolf *et al.*,1985).

**Cuadro N° 03: Cantidad de sal y agua recomendadas para la preparación de soluciones saturadas. (Wolf *et al.*, 1985)**

Sal	Cantidades para la saturación	
	Sal (g)	Agua (ml)
Cloruro de Litio.	150	85
Acetato de Potasio	200	65
Cloruro de Magnesio	200	25
Nitrato de Magnesio	200	30
Cloruro de Sodio	200	60
Cloruro de Potasio	200	80
Cloruro de Bario	200	60

Fuente : Wolf *et al.*,1985.

Kaya *et al.* (1997), mencionado por Díaz, *et al.*(2002),en estudios realizados con cereales nos indican que el conocimiento de la humedad de sorción de la mayoría de los productos deshidratados es muy importante para la estabilidad, la calidad y la vida en anaquel.

La actividad de agua como una función del contenido de humedad y la temperatura  $a_w = f ( T,X)$  es importante para determinar la estabilidad crítica del alimento durante la

vida en anaquel. Las isothermas de sorción y la cinética de desorción son usadas para diseñar varios procesos de secado (Veltchev y Menkov, 2000, mencionado por Díaz *et al.*, 2002).

### **2.3.2 Efecto de la temperatura**

Tanto para adsorción y desorción la temperatura resulta en un equilibrio de los contenidos de humedad correspondientes a los valores de actividad de agua. Similarmente, el contenido de agua de la monocapa decrece con el incremento de la temperatura y puede ser calculado por los diferentes modelos de isothermas (Gahona, 2000).

### **2.3.3 Modelos de isothermas**

Los modelos de isothermas son de gran utilidad en el diseño de los procesos de secado, y muchas veces nos dan parámetros que son característicos de la estabilidad de alimentos almacenados, y pueden ser usados para predecir su vida en anaquel.

Los modelos ajustados pueden ser empíricos, semi empíricos o teóricos y generalmente deben cumplir con una serie de requerimientos. El modelo debe estar basado en una función matemática que pueda ser factiblemente ajustado a una isoterma experimental, la ecuación debe ser sencilla, con pocos parámetros como sea posible que deben tener una significancia física (Vázquez *et al.*, 1999). Dos de los modelos mas utilizados se presentan en el cuadro N° 04. donde A, B, C son constantes de las ecuaciones de isothermas.

**Cuadro 04: Ecuaciones de isotermas de sorción**

N°	Nombre	Ecuación
(1)	<b>GAB</b>	$M = \frac{A B C a_w}{(1 - B a_w)(1 - B a_w + B C a_w)}$
(2)	<b>BET</b>	$M = \frac{A C a_w}{(1 - a_w)(1 - a_w + C a_w)}$

Fuente: Vázquez *et al.*, 1999.

## 2.4 ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial u organoléptico es una disciplina científica que permite definir, medir, analizar e interpretar las características de un producto percibidas mediante los sentidos, es el uso de los sentidos para estudiar características susceptibles de estimular nuestros órganos sensoriales, tomar datos del mundo exterior e interior, identificarlos, relacionarlos, clasificarlos, sacar conclusiones y decidir (reaccionar) de acuerdo con éstas, o no. Sin embargo, reductivamente esa expresión se ha venido restringiendo hasta hace muy poco tiempo al campo de la gastronomía, y al mundo del olfato y el sabor, y ha sido considerado equivalente a degustación y cata, ya que la técnica se ha desarrollado principalmente en relación con ese campo y, mucho más concretamente, con la evaluación de vinos.

En la actualidad, se ha extendido su aplicación profesional y lúdica a todo tipo de bebidas y alimentos y comienza a utilizarse con una variada gama de objetos y al estudio

de problemas alejados de lo que fue su principal campo de aplicación: a la detección de sustancias contaminantes, por ejemplo. Se puede aplicar a:

- La optimización de productos ya existentes y desarrollo de otros nuevos. Aplicación de nuevas tecnologías y estudio de su efecto sobre los atributos sensoriales.
- Caracterización de los alimentos y de sus componentes. Influencia de las variables tecnológicas de proceso en la calidad sensorial.
- Estudio de la relación entre pruebas instrumentales físico-químicas y los parámetros sensoriales.
- Selección del producto más idóneo entre diversas opciones nuevas.

El análisis sensorial se puede aplicar en el Control de Calidad para determinar el mantenimiento de la constancia y estabilidad del producto, control de procesos, determinación de la vida útil, efecto de las modificaciones introducidas en la formulación de un producto y clasificaciones comerciales.

En Estudios de mercado se puede aplicar para determinar la aceptabilidad y preferencia, descripción de los hábitos de consumo y compra, expectativas, creencias y actitudes, caracterización de un producto "ideal", identificación de los atributos del

producto con mayor impacto social y caracterización de un producto frente a otros similares ya existentes en el mercado.

## **2.5 SUPERFICIE DE RESPUESTA**

El análisis de superficie de respuesta tiene como base el método de planeamiento factorial y consiste en grupos de técnicas usadas para el estudio de las relaciones entre una y otra respuesta medidas analíticamente en un número de variables de entrada que pasan a ser controladas. Estas técnicas son usadas para dilucidar las siguientes interrogantes (Box et al; 1978):

Cómo una respuesta es afectada sobre una región de interés dado por un conjunto de variables de entrada.

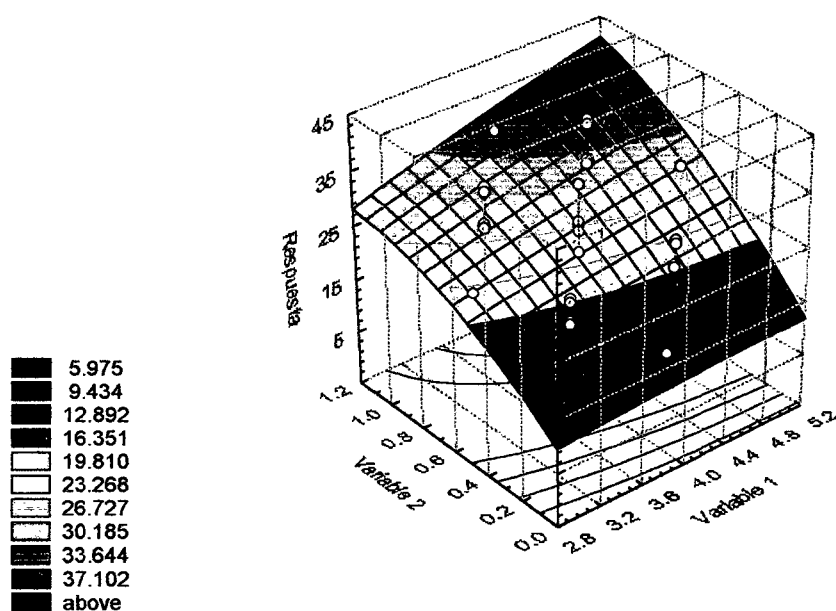
- b. Qué conjuntos de variables de entrada resultarán como producto dentro de las especificaciones deseadas.
- c.Cuál de los valores de las variables de entrada tendrá el menor valor para una respuesta específica y como la superficie de respuesta se aproxima a este punto.

En procesos multivariantes, como los bioquímicos, donde la importancia de cada variable debe de ser determinada, y optimizada en una herramienta de trabajo necesaria para el mejor entendimiento del sistema, verificándose individualmente el efecto de cada variable operacional en rendimiento y productividad (Mendieta, 1999). Supóngase que la

dependencia de una variable respuesta  $Y$  sobre los niveles  $x_1, x_2, \dots, x_k$  de  $k$  variables cuantitativas o factores se puede expresar por el siguiente modelo matemático:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + e; e \sim N(0, s^2).$$

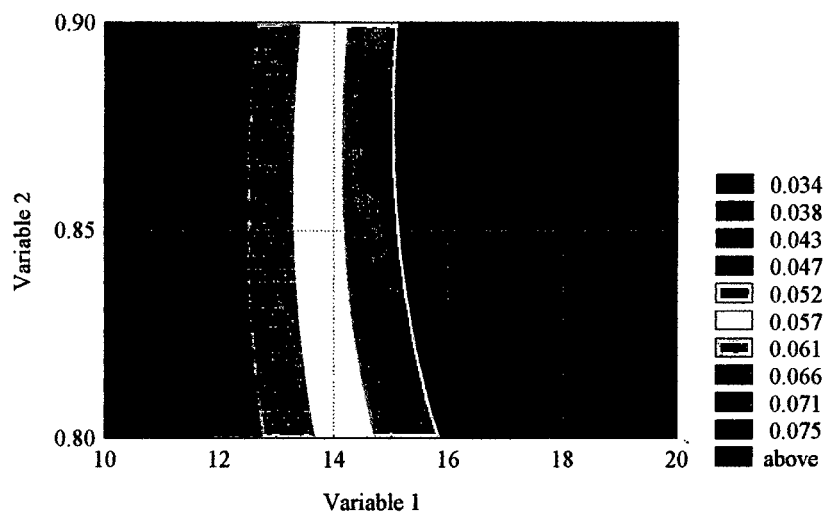
Esta relación funcional en general se llama una superficie de respuesta. Uno de los objetivos más frecuentes en una investigación por experimentación consiste en determinar los valores de las  $k$  variables independientes,  $x_i$ ; ( $i = 1, \dots, k$ ), las cuales pueden producir un máximo (o mínimo) de  $E(Y)$ . En la figura N° 07 se muestra la representación grafica de una superficie de respuesta.



**Figura N° 07: Representación grafica de una superficie de respuesta.**



En la figura N° 08 se muestra la representación grafica de las curvas de nivel de una superficie de respuesta.



**Figura N° 08: Representación grafica de las curvas de nivel de una superficie de respuesta.**

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.**

El presente trabajo de investigación, se realizó en los laboratorios de Ingeniería y diseño, Análisis y Composición de Productos Agroindustriales (ANACOMPA), Tecnología de Productos Agroindustriales No Alimentos (TEPANAL) y en el Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad Nacional de San Martín, durante los meses de Abril a Septiembre del 2001.

#### **3.2. MATERIA PRIMA.**

Se empleó como materia prima tilapia (*Oreochromis sp.*) de peso promedio de 200g, de sexo macho, en filetes de peso promedio de 33.38g, 68.80 cm<sup>2</sup> de área y 9.16 mm de espesor, procedentes del Distrito de Morales (Maronilla, Km. 8 carretera Marginal Norte), Provincia de San Martín, Departamento de San Martín.

#### **3.3 EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS.**

##### **3.3.1 Equipos.**

- Anemómetro.
- Digestor Buchi para proteína, tipo B425, 1100 Watts, Suecia.
- Mufla Thermolyne 1500 Furnace, Temperatura máxima 1200 C°, 2240 Watts, USA.
- Estufa MEMMERT, tipo U30, Temperatura máxima 220 °C, 1400 Watts.
- Estufa MEMMERT, tipo W – 350, Temperatura máxima 110 °C, 1600 Watts.

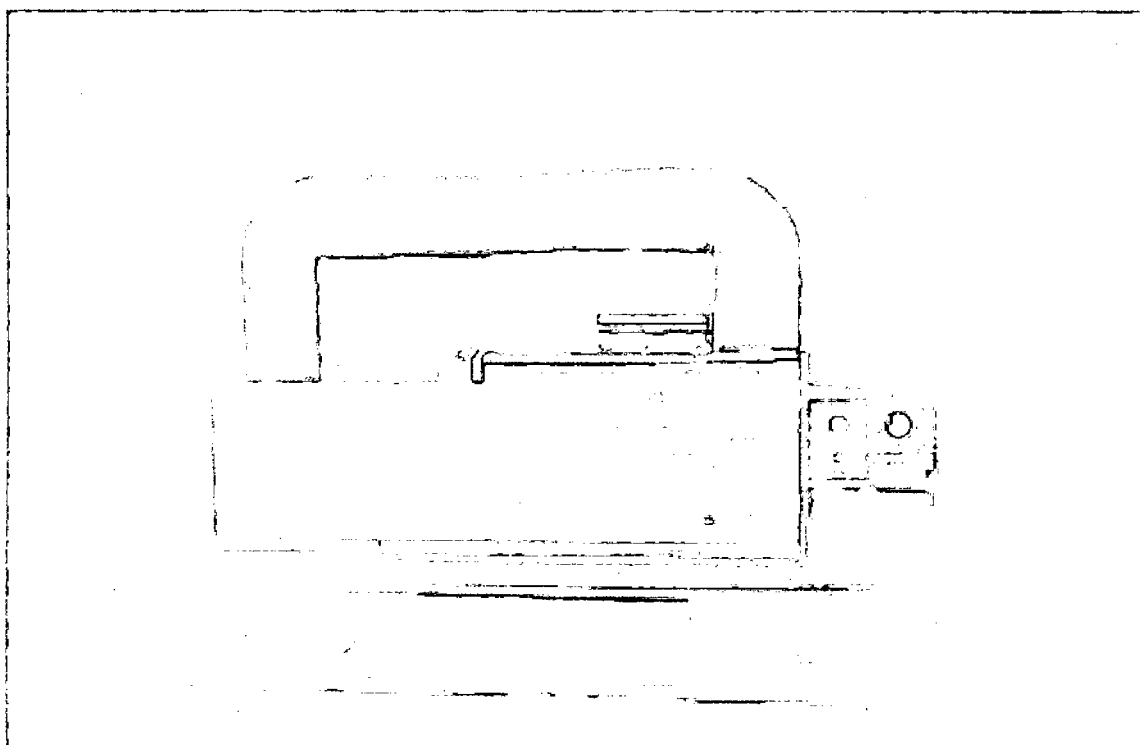
- Balanza Digital DENVER INSTRUMENT COMPANY, modelo AA200, Capacidad 210 g. Exactitud 0.1 mg.
- Balanza gramera.
- Cocina eléctrica Fisher, temperatura máxima 600 °C.
- Equipo Semi-microkjeldhal, Marca J. P. Selecta, Modelo 627,220 voltios,2000 Watts.
- Extractor Soxhlet.
- Equipo de titulación.
- Selladora.
- Secador por flujo de aire caliente, equipado con un termostato con lámpara piloto, cuatro interruptores, un transformador de 220V a 12 V, cuatro ventiladores de 12 V, tres resistencias con un total de 2500 Vatios, con recirculación de aire de 80%, y velocidades de aire de 0.5, 0.8 y 1.1 m/s; el caudal de aire es 0.0612, 0.09792 y 0.13464 m<sup>3</sup>/s respectivamente. La potencia es 10.21 watts; 0.0137 Hp.

A temperatura de 40 °C, el secador presenta las siguientes características: calor sensible para el filete de tilapia es 0.338 Kcal; el calor latente que necesita para vaporizar el agua del filete de tilapia es 0.77 Kcal; siendo el calor sensible para el calentamiento del aire dentro de la cámara de secado 7.24 Kcal; teniendo un calor total de 8.348 Kcal; el volumen de aire es 0.68 m<sup>3</sup>; el caudal de aire es 0.0612 m<sup>3</sup>/s.

A temperatura de 50 °C, el secador presenta las siguientes características: calor sensible para el filete de tilapia es 0.6676 Kcal; el calor latente que necesita

para vaporizar el agua del filete de tilapia es 0.9625 Kcal; siendo el calor sensible para el calentamiento del aire dentro de la cámara de secado 14.48 Kcal; teniendo un calor total de 16.11 Kcal; el volumen de aire es  $0.68 \text{ m}^3$ ; el caudal de aire es  $0.09792 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A temperatura de  $60^\circ\text{C}$ , el secador presenta las siguientes características: calor sensible para el filete de tilapia es 1.0014 Kcal; el calor latente que necesita para vaporizar el agua del filete de tilapia es 1.155 Kcal; siendo el calor sensible para el calentamiento del aire dentro de la cámara de secado 21.72 Kcal; teniendo un calor total de 23.876 Kcal; el volumen de aire es  $0.68 \text{ m}^3$ ; el caudal de aire es  $0.13464 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura N° 09. Secador por flujo de aire caliente**

### **3.3.2 Materiales**

- Cronómetro digital.
- Pie de Rey.
- Psicrómetro.
- Campanas desecadoras de vidrio.
- Frascos de vidrio contenedores de sales para de isothermas de sorción
- Bandeja de secado.
- Vasos de precipitados.
- Placas petri.
- Crisoles.
- Embudos.
- Pissetas.
- Cuchillo.
- Pinza.
- Pipetas.
- Papel secante.
- Bolsas de polietileno de alta densidad.

### **3.4. REACTIVOS.**

- Ácido sulfúrico concentrado.
- Ácido clorhídrico concentrado.
- Rojo de metilo.
- Hidróxido de Sodio concentrado.

- Etanol.
- Éter etílico.
- Sulfato de Potasio.
- Ácido Bórico.
- Cloruro de Litio
- Acetato de potasio
- Cloruro de Magnesio.
- Nitrato de Magnesio.
- Cloruro de Sodio.
- Cloruro de Potasio.
- Cloruro de Bario.

### **3.5 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.**

El experimento comprendió dos fases, la primera fase en el secado de los filetes frescos descamados y despellejados y la segunda fase en un análisis Sensorial al filete seco.

La etapa de secado fue realizada bajo un experimento factorial completo de 3x3, con tres repeticiones, dentro de un diseño estadístico completamente al azar (DCA), el mismo que se muestra en el cuadro N° 5.

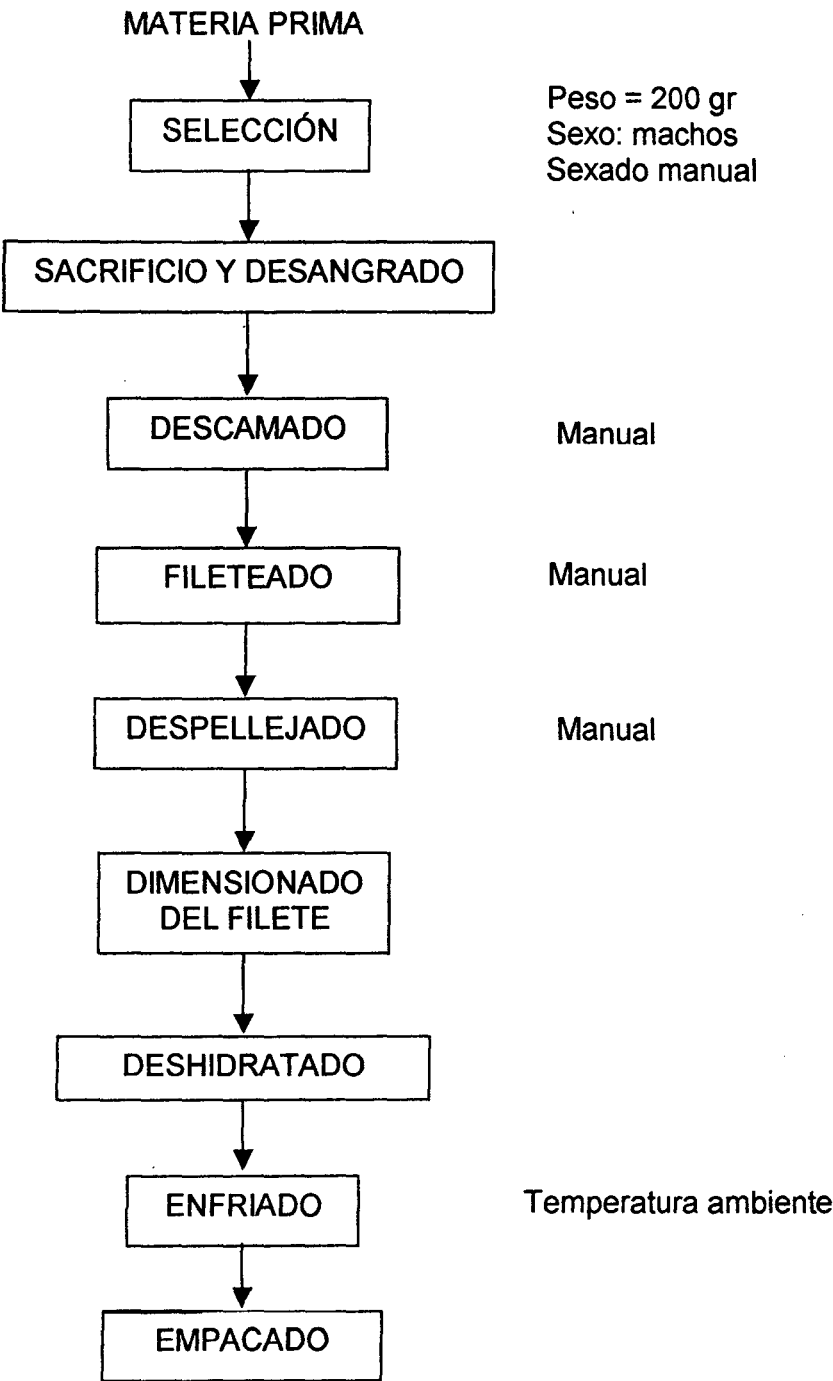
**Cuadro N° 5. Tratamiento del estudio.**

<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>VELOCIDAD DEL AIRE    m/s</b>		
	0.5 (-1)	0.8 (0)	1.1 (+1)
40 (-1)	(-1) (-1)	(-1) (0)	(-1 ) (+1)
50 (0)	(0) (-1)	(0) (0)	(0) (+1)
60 (+1)	(+1) (-1)	(+1) (0)	(+1) (+1)

El cuadro N° 5 muestra las interacciones del experimento factorial de las tres velocidades de aire de secado con cada una de las temperaturas, con tres repeticiones cada una, lo cual nos da un total de 27 experimentos, teniendo de esta forma resultados confiables.

**3.6 DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE SECADO DE FILETES.**

El diagrama de flujo preliminar muestra las operaciones del proceso de secado para los filetes de tilapia.



**Figura N° 10: Diagrama de flujo de secado de filete de tilapia.**



### **3.6.1 Obtención de la materia prima.**

La materia prima, fue adquirida en el mercado N° 02 de la Ciudad de Tarapoto, procedente de piscigranjas ubicadas en Maronilla, distrito de Morales.

### **3.6.2 Selección**

Los filetes utilizados procedían de tilapias sexadas manualmente, machos con peso promedio de 200 g, cultivadas en piscinas artificiales ubicadas en el distrito de Morales, sector de Maronilla.

### **3.6.3 Sacrificio y desangrado**

El sacrificio se realizó con el corte de la cabeza del pez, permitiendo el desangrado del cuerpo del pescado.

### **3.6.4 Descamado**

El descamado manual se hizo levantando las escamas con la ayuda de un cuchillo, sin maltratar la piel del pescado .

### **3.6.5 Fileteado**

Se separan el filete del pescado con la ayuda de una cuchillo, haciendo longitudinal desde la cabeza hasta la cola.

### **3.6.6 Despellejado**

Se realizó con la ayuda de un cuchillo, separando con finos cortes la piel ya sin escamas del filete.

### **3.6.7 Dimensionado del filete**

Se determinó con el pie de Rey el largo, ancho y espesor, además se determinó también el área de cada filete dato posteriormente utilizado para determinar la velocidad de secado.

### **3.6.8 Deshidratado**

El secado se realizó en el secador del Laboratorio de Ingeniería y Diseño, tomándose el peso en forma continua, a intervalos de tiempo establecidos, se realizaron un total de nueve experimentos interaccionando 3 niveles de temperatura ( 40, 50 y 60 °C) y 3 niveles de velocidad de aire constante ( 0.5 , 0.8 y 1.1 m/s) medidos con la ayuda de un anemómetro; efectuándose a su vez tres repeticiones por cada experimento que dan un total de 27 ensayos de secado. Durante el proceso se controló siempre las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco del psicrómetro colocado en el interior de la cámara de secado.

### **3.6.9 Enfriado**

Una vez que el filete alcanza la humedad del 8.5% en base húmeda, luego se retiró el filete y se colocó en la campana desecadora por 15 minutos.

### **3.6.10 Empacado**

Una vez fríos los filetes secos extraídos de la campana de desecación se empacaron en bolsas de polipropileno de alta densidad selladas por calentamiento.

## **3.7. MÉTODOS DE CONTROL.**

### **3.7.1 Controles en el filete de tilapia fresco**

Los controles que se realizaron a los filetes frescos son: análisis físico determinado por el dimensionado y análisis químico proximal.

#### **3.7.1.1 Determinación de dimensiones**

Se Utilizó Pie de Rey, para medir el ancho, largo, espesor de los filetes y tambien se determino el área.

#### **3.7.1.2 Análisis químico proximal del filete fresco**

##### **3.7.1.2.1 Humedad**

Se realizó por el método de la estufa a 110 °C durante 24 horas. (AOAC, 1960)

##### **3.7.1.2.2 Proteína total**

Se utilizó el equipo Semi-microkjeldhal (AOAC, 1960.) El porcentaje de nitrógeno se multiplicó por el factor 6.25.

#### **3.7.1.2.3 Grasa total**

Se realizó por extracción con éter etílico como solvente, mediante el método Soxhlet, (AOAC, 1960.)

#### **3.7.1.2.4 Ceniza total**

Se determinó por calcinación de la muestra en una mufla a 550 °C durante cuatro horas (AOAC, 1960.)

### **3.7.2 Controles durante el proceso**

Durante el proceso fue necesario controlar la variación del peso en función del tiempo, la temperatura de secado, velocidad del flujo de aire con la ayuda de un anemómetro en la cámara de secado y también las humedades relativas dentro y fuera de la cámara de secado, mediante psicrómetros ubicados en esta cámara y en los ambientes del laboratorio.

### **3.7.3 Controles del filete seco**

Los controles que se realizaron al filete seco fueron análisis proximal, dimensionado, capacidad de rehidratación, isotermas de adsorción y análisis sensorial.

#### **3.7.3.1 Determinación de dimensiones**

Se utilizó Pie de Rey, para medir el ancho, largo y espesor de los filetes después del secado.

### **3.7.3.2. Análisis químico proximal del filete seco**

#### **3.7.3.2.1 Humedad**

Se realizó por el método de la estufa a 110 °C durante 24 horas. (AOAC, 1960)

#### **3.7.3.2.2 Proteína total**

Se utilizó el equipo Semi-microkjeldhal (AOAC, 1960.) El porcentaje de nitrógeno se multiplico por el factor 6.25.

#### **3.7.3.2.3 Grasa total**

Se hizo por extracción con éter etílico como solvente, mediante el método Soxhlet, (AOAC, 1960.)

#### **3.7.3.2.4 Ceniza total**

Se determino por calcinación de la muestra en una mufla a 550 °C durante cuatro horas (AOAC, 1960.)

### **3.7.3.3. Isotermas de adsorción**

Fueron realizadas empleando el método gravimétrico (Labuza *et al*,<sup>2</sup> 1985), se colocaron muestras de 2gr. de tilapia deshidratada (humedad promedio de 8.5 % bh) en placas petri, las que se mantuvieron en una serie de recipientes cerrados, que contenían soluciones salinas saturadas para mantener una gama de humedades relativas constantes, hasta la determinación del contenido de agua en el equilibrio para los filetes, dado cuando su peso era constante. Se fijaron isotermas de adsorción a temperaturas de

40, 50 y 60 °C. Las siete sales utilizadas y la humedad relativa a estas temperaturas se muestran en el cuadro N° 06.

**Cuadro N° 06: Actividad de agua de las Soluciones Salinas utilizadas para las Isotermas de adsorción a temperaturas de 40, 50 y 60 °C**

SAL	ACTIVIDAD DE AGUA		
	40°C	50°C	60°C
Cloruro de litio	0.118	0.114	0.112
Acetato de potasio	0.206	0.189	0.175
Cloruro de magnesio	0.318	0.312	0.296
Nitrato de magnesio	0.510	0.500	0.500
Cloruro de sodio	0.754	0.754	0.745
Cloruro de potasio	0.850	0.810	0.800
Cloruro de bario	0.890	0.890	0.880

Fuente: Labuza y Chen (1985)



**3.7.3.4. Análisis sensorial**

Para evaluar los resultados de los tratamientos de secado, se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), teniendo como bloques a los Jueces que evaluaron atributos de color, olor, sabor y apariencia general del filete de tilapia, utilizando una prueba de diferenciación, escala hedónica de cinco puntos; estos resultados se analizaron mediante el Análisis de Varianza (ANVA) a un nivel de significancia de 0.05 y también mediante superficie de respuesta.

### 3.7.4. Determinación de difusividad

La difusividad de cada experimento se obtuvo ajustando a una ecuación de Fick (Crank 1975), los valores experimentales de cinética de secado, para todo el proceso de secado., mediante regresión no lineal utilizando mínimos cuadrados. Esta ecuación se aplica a todo el proceso, debido a que todo el proceso de secado se encuentra en velocidad decreciente.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \left( -D_{\text{eff}} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right)$$

Donde:

C: Concentración de agua (contenido de humedad)

t: Tiempo.

x: Espesor de la muestra.

D<sub>eff</sub>: Difusión efectiva del agua.

### 3.7.5 Capacidad de rehidratación

La determinación de la capacidad de rehidratación del filete seco se realizó luego de almacenamiento por el periodo de un mes mediante inmersión en agua destilada, pesando los filetes secos a intervalos de 0.5 horas, hasta llegar a un peso constante. Esta determinación se efectuó para el mejor tratamiento de temperatura y velocidad de secado.

### 3.7.6 Velocidad de secado

El comportamiento de la velocidad de secado para diferentes temperaturas y velocidades de aire de secado es observado en las figuras N° 18, N° 19 y N° 20. El ajuste de las curvas fue realizado mediante el modelo de Boltzman.

$$BOLTZMAN = \frac{(A_1 - A_2)}{\{1 + \exp((X - X_0)/dx)\}} + A_2$$

Donde:

$X_0$  = Valor central de los datos

$dx$  = Incremento de los datos

$A_1$  = Valor inicial de los datos, variable dependiente

$A_2$  = Valor final de los datos, variable dependiente



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. BIOMETRÍA DE LOS FILETES DE TILAPIA (*Oreochromis sp.*).

La biometría de los filetes de tilapia tanto frescos como deshidratados se muestra en el cuadro N° 07, los valores fueron promediados entre treinta muestras de filetes de tilapia frescos sin piel.

**Cuadro N° 07: Biometría de filetes de tilapia (*Oreochromis sp.*).**

PARÁMETROS	VALORES	
	FRESCO	DESHIDRATADO
Peso (g)	33.38	6.89
Área (cm <sup>2</sup> )	68.80	66.90
Espesor (mm)	9.16	8.21

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en el cuadro N° 07 el peso que en fresco fue de 33.38g y en los filetes deshidratados es de 6.89 esto debido al agua que se elimino durante el proceso de deshidratación, pues al inicio del secado la humedad (bh) fue de 80.49% y el los filetes deshidratados la humedad (bh) fue de 8.49%

La reducción en el área se debe a que como hay perdida de humedad los filetes tienden a reducirse pues claramente se ve que de 68.80 cm<sup>2</sup> que tienen los filetes frescos pasan a 66.90 cm<sup>2</sup>. En cuanto al espesor los filetes frescos que tienen un espesor de 9.16 mm llegan a tener un espesor de 8.21mm el efecto es el mismo que ocurre con el área.

## 4.2 COMPOSICIÓN PROXIMAL

El análisis químico proximal de los filetes de tilapia frescos y deshidratados, se presenta en el cuadro N° 08, donde es posible observar la variación en la composición proximal del filete.

**Cuadro N° 08: Composición proximal del filete de tilapia (*Oreochromis sp.*) fresco y deshidratado.**

COMPONENTES	MUESTRA FRESCA (%)	MUESTRA DESHIDRATADA (%)
Humedad	80.49	8.49
Proteínas(Nx6.25)	17.38	81.52
Lípidos	1.13	5.30
Cenizas	1.00	4.69

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis proximal del filete fresco determinados son similares a los presentados por Zapata *et al.* (1986), citado por Medina (1998). Respecto a los valores de pescado deshidratados se puede observar que la disminución de la humedad hasta un 8.49% permite obtener un porcentaje de proteínas de 81.52%, lípidos de 5.30% y cenizas de 4.69%; estos resultados son concordantes con los mostrados por Mendieta y Medina (1993) en su trabajo realizado utilizando secador solar sin control de temperatura y velocidad de aire (Humedad 80%, proteína 17.3%, Lípidos 2.0% y cenizas 0.7% mientras que para filetes deshidratados los resultados que reportaron fueron: Humedad 25%, proteína 37%, lípidos 2.0% y ceniza 0.7%)

### 4.3 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Los valores experimentales de las isotermas de adsorción de los filetes secos y las curvas ajustadas con las ecuaciones de GAB y de BET se muestran en las Figuras N° 11 y N° 12, donde puede notarse que el contenido de humedad de equilibrio se incrementa rápidamente para valores de  $a_w$  superiores a 0.5. La humedad de monocapa, determinada utilizando la ecuación de BET (Cuadro N° 09), disminuye con el incremento de temperatura, comportamiento similar fue observado por Díaz *et al*, (2002) en el estudio de las isotermas de adsorción de músculo de camarón gigante (*Macrobrachium rosenbergii*).

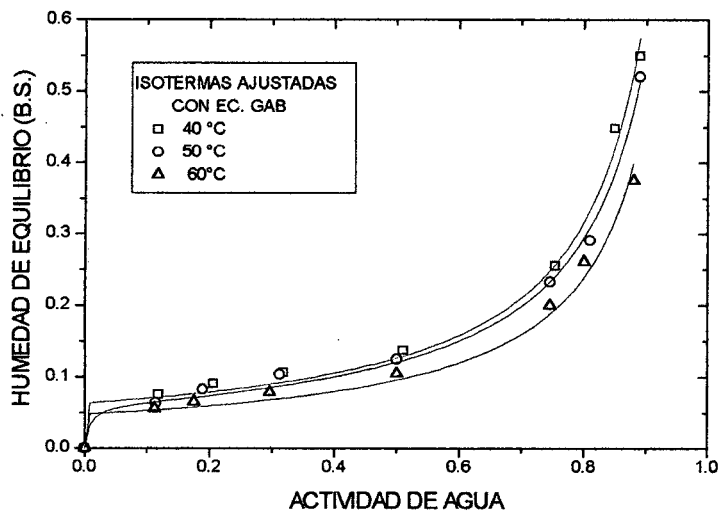
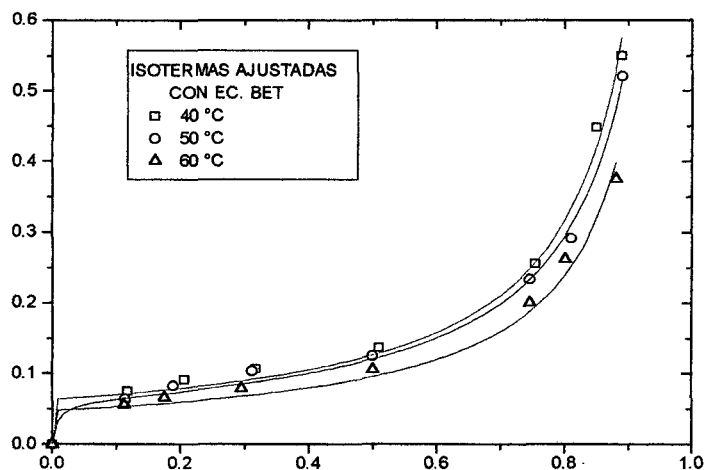


Figura N° 11: Isotermas de adsorción de filetes de tilapia ajustadas con la ecuación de GAB.



**Figura N° 12: Isothermas de adsorción de filetes de tilapia ajustadas con la ecuación de BET.**

Los coeficientes de los dos modelos matemáticos utilizados (GAB y BET) fueron obtenidos mediante regresión no lineal de los datos experimentales. La comparación de los dos modelos matemáticos de isothermas de adsorción se presenta en el cuadro N° 09.

**Cuadro N° 09: Constantes de Isothermas de adsorción evaluadas para filetes de tilapia (*Oreochromis sp.*)**

MODELO	TEMPERATURA (° K)	CONSTANTES			R <sup>2</sup>
		MONOCAPA A	B	C	
GAB	313	0.07113	199.05846	0.99797	0.99694
	323	0.06120	125.63992	0.99812	0.99625
	333	0.05912	46.68821	0.99909	0.99819
BET	313	0.06326	1596600		0.99659
	323	0.00577	1920309		0.99451
	333	0.05722	2325300		0.98635

Fuente: Elaboración propia

De las dos ecuaciones utilizadas fue GAB la que mejor reprodujo los resultados experimentales, dando valores del Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.99694, 0.99625 y 0.99819, para 40 °C, 50 °C y 60 °C respectivamente, Este modelo fue considerado como el más adecuado para describir isotermas de adsorción de los filetes de tilapia en comparación con el modelo de BET que obtuvo valores menores de coeficientes de determinación para los mismos datos experimentales.

4.4 SECADO

4.4.1 Efecto de la Temperatura.

Las muestras de filetes de tilapia frescas sin piel fueron deshidratadas a diferentes velocidades de aire de secado. Los resultados mostrados en las figuras N° 13, N° 14 y N° 15, representan la variación del peso frente al tiempo de secado, a las velocidades de aire evaluadas de 0.5 m/s, 0.8 m/s y 1.1 m/s.

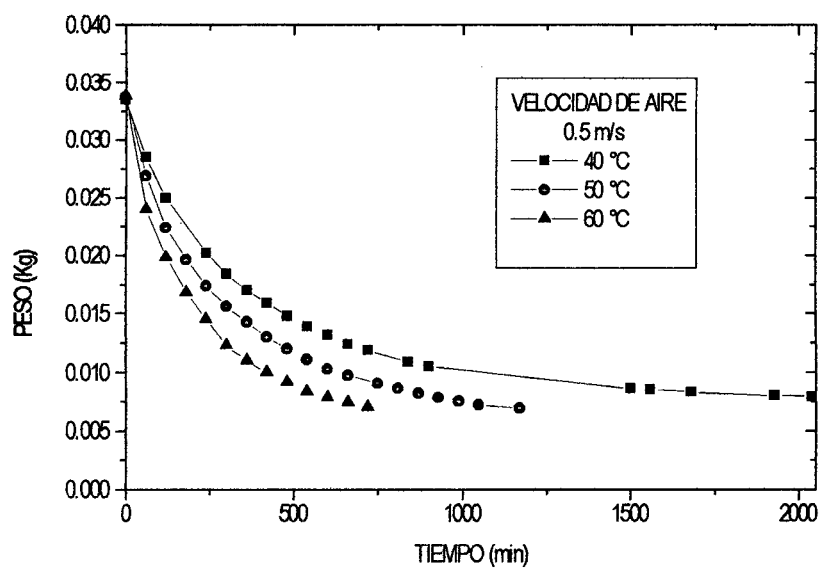
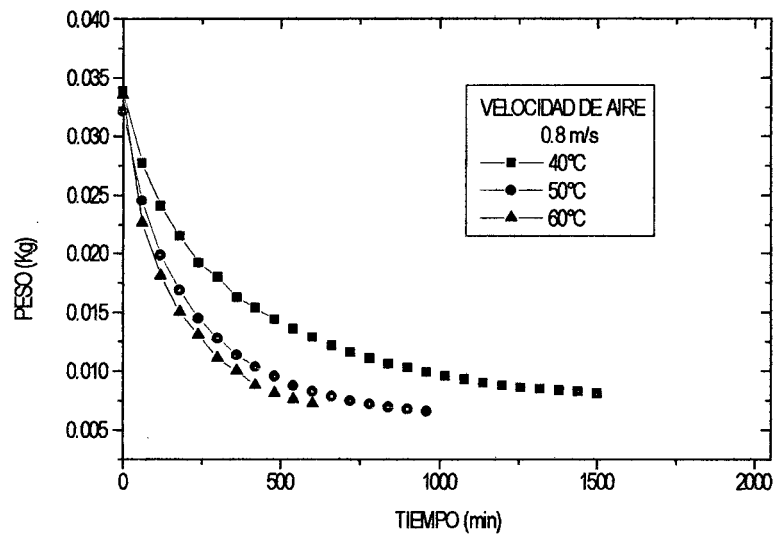
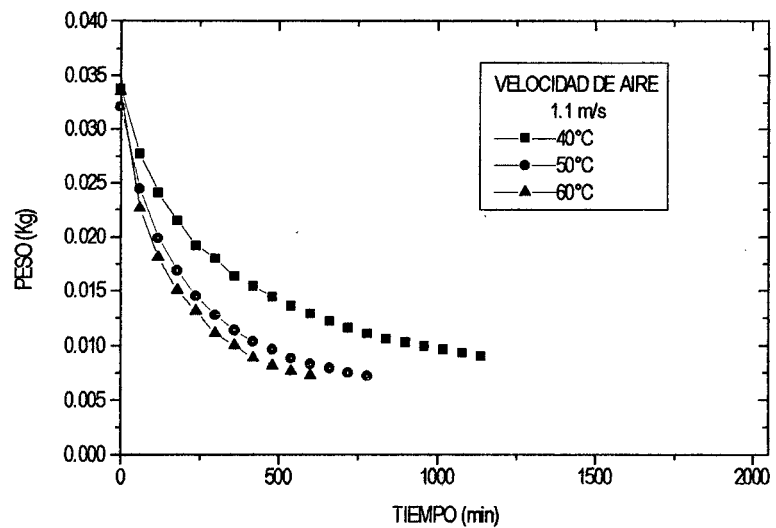


Figura N° 13: Efecto de la Temperatura sobre la cinética de secado de los filetes de tilapia a velocidad del aire de secado de 0.5 m/s.



**Figura N° 14: Efecto de la Temperatura sobre la cinética de secado de los filetes de tilapia a velocidad del aire de secado de 0.8 m/s.**

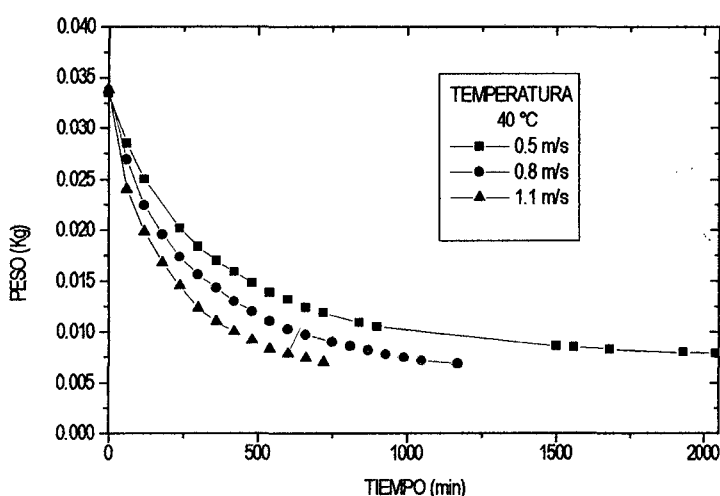


**Figura N° 15: Efecto de la Temperatura sobre la Cinética de secado de los filetes de tilapia a velocidad del aire de secado de 1.1 m/s.**

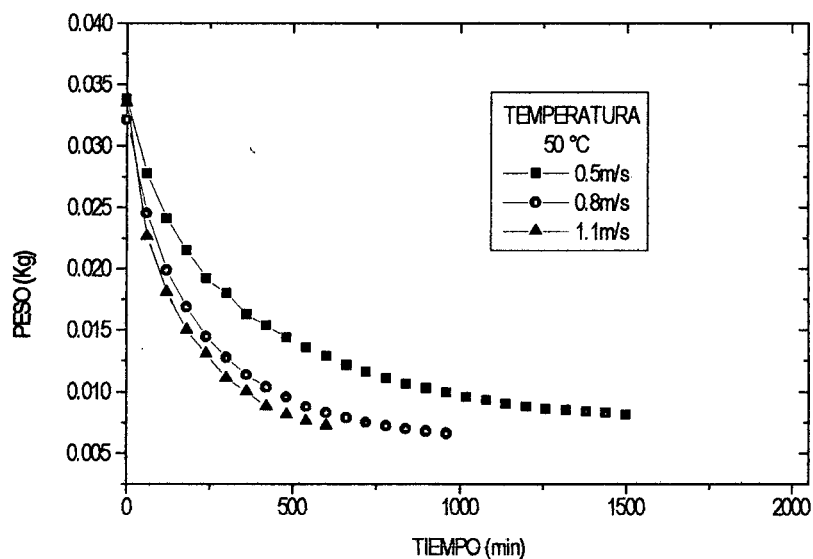
En las figuras anteriores puede observarse que la temperatura del aire de secado influye de manera directa sobre el comportamiento de la cinética y el tiempo de secado para una misma velocidad de aire, debido a que a mayor temperatura la capacidad de retención de agua de las proteínas del filete disminuye.

#### 4.4.2 Efecto de la velocidad del aire de secado

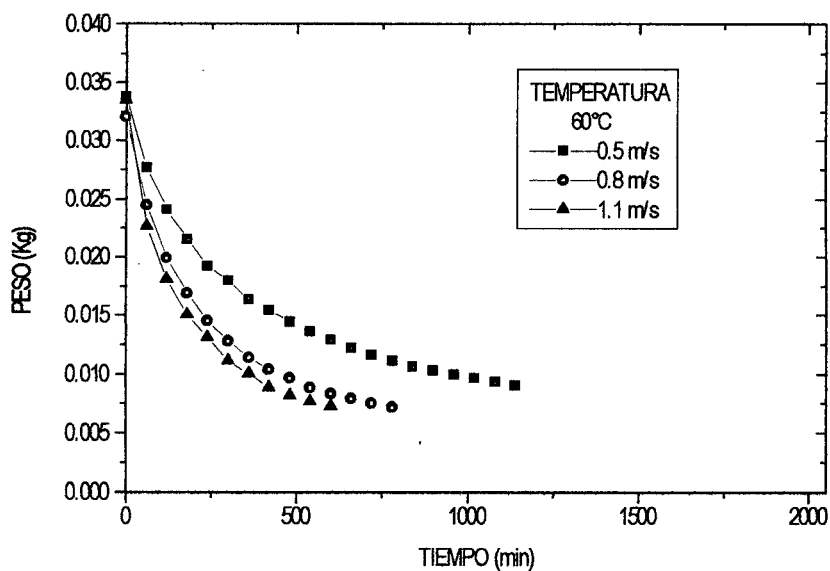
El tiempo de secado (en segundos), con el peso (en Kg) graficados para las tres temperaturas de secado evaluadas de 40°C, 50°C y 60°C, se muestra en las figuras N° 16, N° 17 y N° 18.



**Figura N° 16: Efecto de la velocidad del aire de secado sobre la Cinética de secado del filete de tilapia a temperatura de secado de 40 °C.**



**Figura N° 17: Efecto de la velocidad del aire de secado sobre la Cinética de secado del filete de tilapia a temperatura de secado de 50 °C.**



**Figura N° 18: Efecto de la velocidad del aire de secado sobre la Cinética de secado del filete de tilapia a temperatura de secado de 60 °C.**



En las figuras N° 16, N° 17 y N° 18, se puede notar que las diferentes velocidades de aire de secado tienen poca influencia sobre el comportamiento de las cinéticas de secado para las tres temperaturas de secado evaluadas. El tiempo de secado está influenciado ligera y directamente por la velocidad de aire, a mayores velocidades de aire de secado menor es el tiempo de secado. Este comportamiento es similar al reportado por Teixeira y Tobinaga (1998), en experimentos realizados con manto de calamar.

#### 4.5. VELOCIDAD DE SECADO

Las gráficas de velocidad de secado se muestran a continuación.

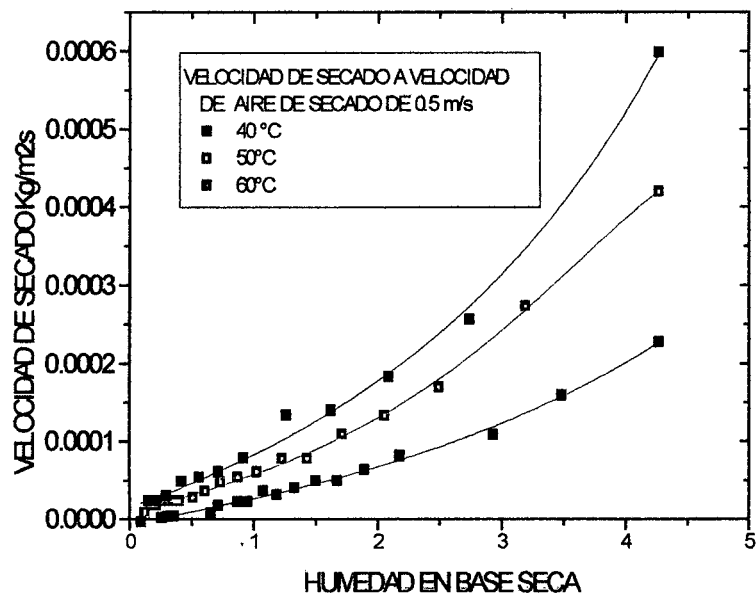


Figura N° 19: Velocidad de secado a temperaturas de 40, 50 y 60°C a velocidad de aire constante de 0.5 m/s.

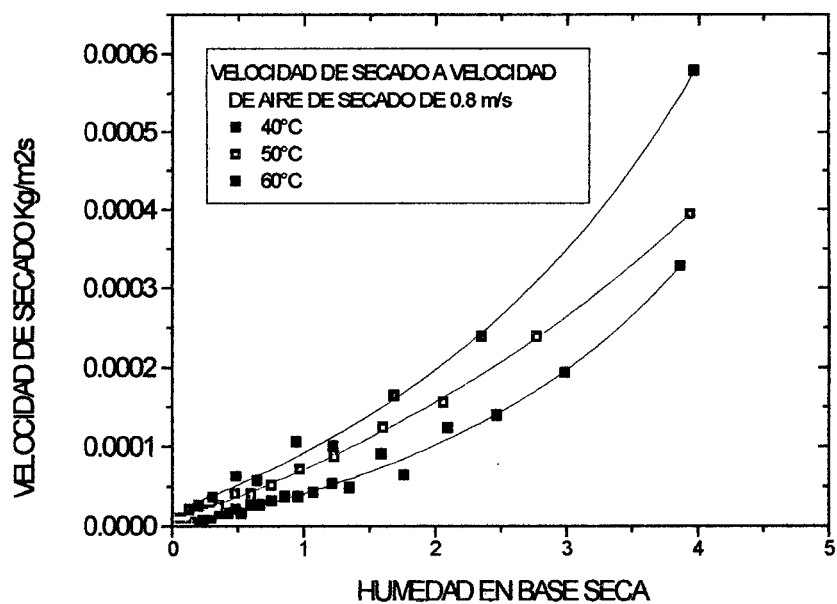
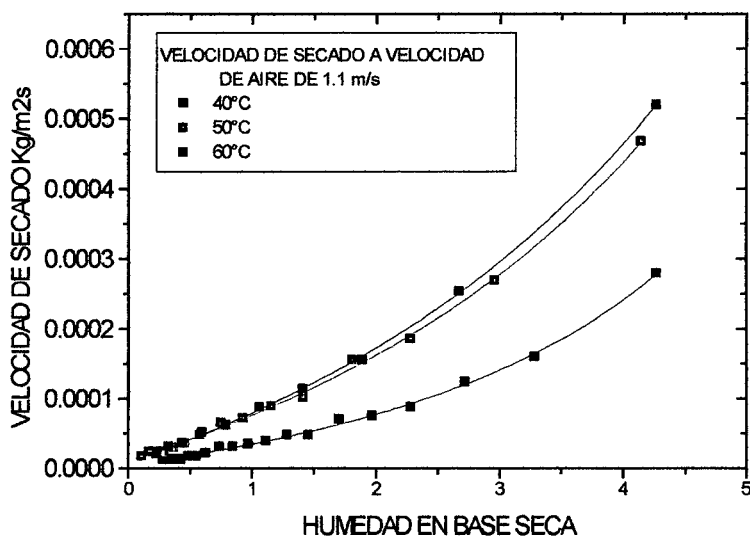


Figura N° 20: Velocidad de secado a temperaturas de 40, 50 y 60°C a velocidad de aire constante de 0.8 m/s



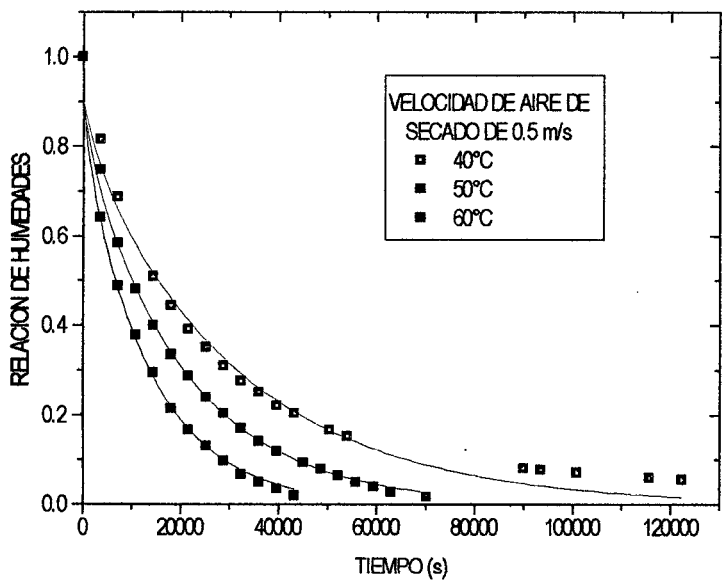
**Figura N° 21: Velocidad de secado a temperaturas de 40, 50 y 60°C a velocidad de aire constante de 1.1 m/s.**

Las figuras N° 19, N° 20 y N° 21 muestran que en el secado de filetes de tilapia la velocidad de secado está fuertemente influenciada por la temperatura y velocidad del aire de secado, además no existe un periodo de velocidad constante para los distintos tratamientos evaluados, por lo tanto el periodo decreciente indica que la velocidad de secado del filete de tilapia está influenciado por la difusividad. En estudios realizados por Zakhia *et al.* (1995) y Díaz *et al.* (2002) se reportó el mismo comportamiento para el secado de pescado (*Tilapia nilotica*) y camarón gigante.

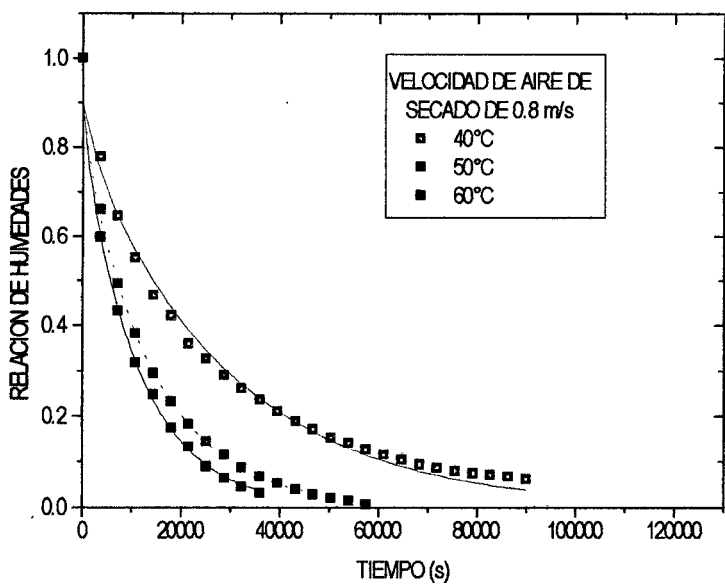
#### 4.6 DIFUSIVIDAD

Las curvas experimentales de cinética de secado y las curvas simuladas empleando el modelo de Fick se muestran en las figuras N° 22, N° 23 y N° 24, y los valores de difusividad calculadas por la ecuación de Fick para placa plana se muestran en el cuadro N° 09. Para obtener los valores de difusividad aparente se aplicó

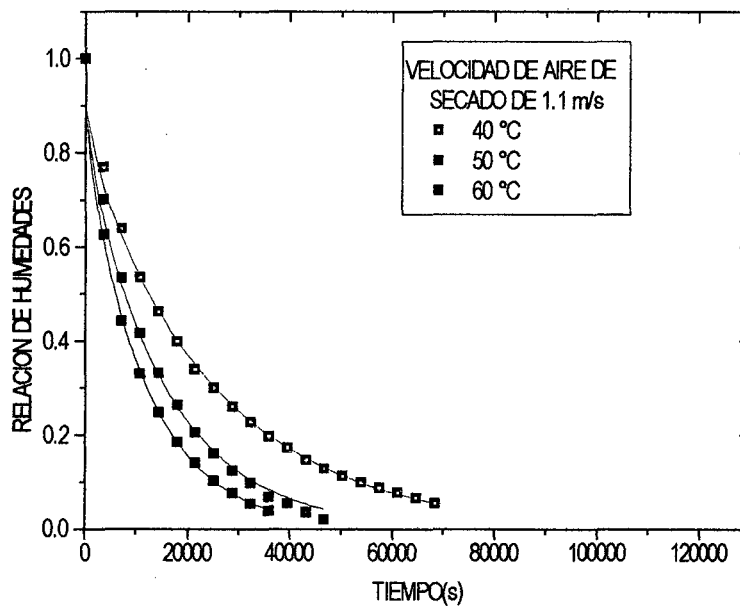
regresión no lineal haciendo uso del programa Microcal Origin 3.5, que permite determinar un grado de ajuste razonable a los datos experimentales (valores de  $R^2$  iguales o superiores a 0.96).



**Figura N° 22: Comportamiento de las difusividades para velocidad de aire de secado de 0.5 m/s a 40°C, 50°C y 60°C.**



**Figura N° 23: Comportamiento de las difusividades para velocidad de aire de secado de 0.8 m/s a 40°C, 50°C y 60°C.**



**Figura N° 24: Comportamiento de las difusividades para velocidad de aire de secado de 1.1 m/s a 40°C, 50°C y 60°C.**

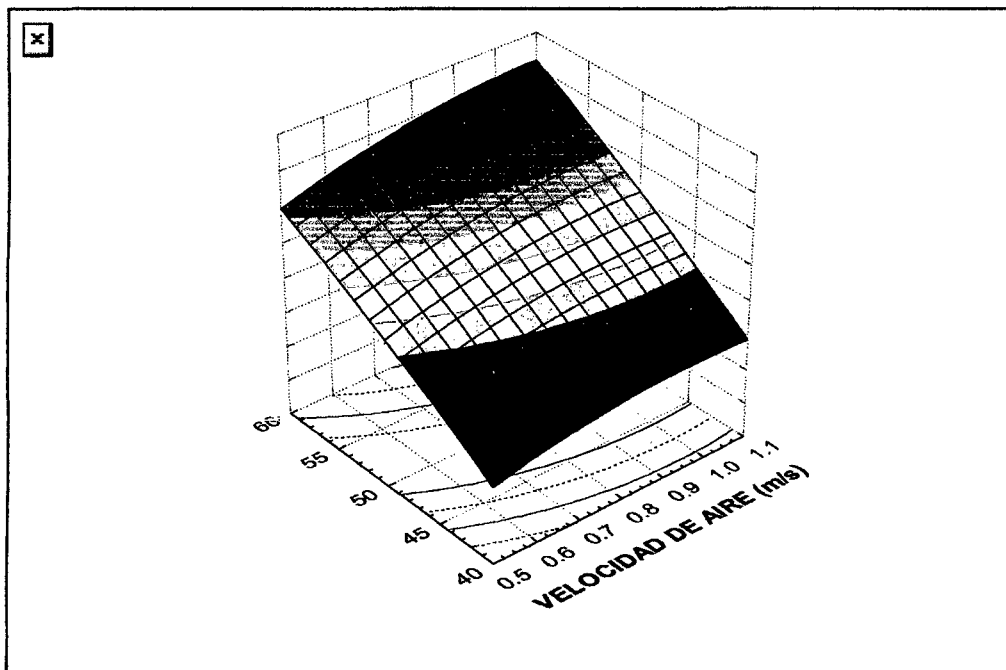
En el Cuadro N° 10 se observa la influencia directa de la temperatura y la velocidad del aire de secado sobre la difusividad del agua durante el proceso de deshidratación por flujo de aire caliente, la difusividad aumenta desde valores de  $3.1394 \times 10^{-9}$  para 40 °C de temperatura y velocidad de aire de 0.5 m/s, hasta un valor de  $9.0495 \times 10^{-9}$  cuando el proceso se realiza a 60°C. con velocidad de aire de 1,1 m/s. Zakhia *et al.* (1995), reportaron datos de difusividades para el secado de Tilapia nilótica con valores de  $3.03 \times 10^{-10}$  a 30°C y 0,5 m/s de velocidad de aire hasta  $1.12 \times 10^{-9}$  a 70°C y 3,5 m/s de velocidad de aire. Del mismo modo Texeira y Tobinaga (1998), reportaron comportamientos similares de la difusividad durante el secado de manto de calamar.

**Cuado N° 10 Valores de difusividad calculadas por la ecuación de Fick para placa Plana.**

<b>Velocidad de secado (m/s)</b>	<b>Temperatura de Secado (°C)</b>	<b>Difusividad x 10<sup>-9</sup> (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Coefficiente de correlación (R<sup>2</sup>)</b>
0.5	40	3.1394	0.98233
0.5	50	5.2915	0.99046
0.5	60	7.6401	0.989932
0.8	40	3.7275	0.98817
0.8	50	6.6451	0.99125
0.8	60	8.5526	0.98836
1.1	40	3.8403	0.99077
1.1	50	6.6486	0.98756
1.1	60	9.0495	0.98834

Fuente. Elaboración propia

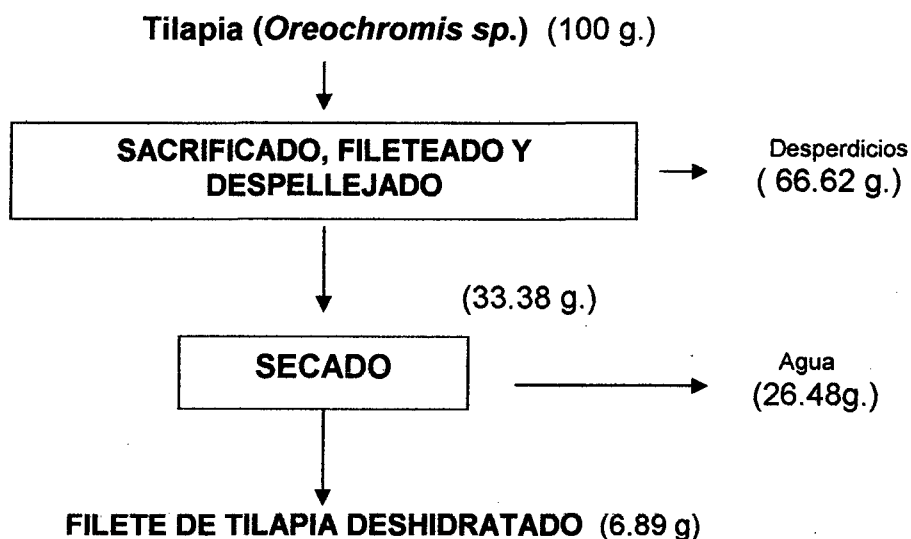
La superficie de respuesta de la difusividad en función de la velocidad de aire de secado y la temperatura se muestra en la figura N° 25, observándose que las regiones de mayor difusividad están comprendidas para las mayores temperaturas y velocidades de aire de secado. Esto se debe a que a temperaturas altas las proteínas del filete se desnaturalizan y liberan con mayor facilidad el agua propiciando una mayor difusión, la misma que esta relacionada directamente con la difusividad.



**Figura N° 25: Superficie de respuesta para la difusividad en función de la Temperatura y velocidad del aire durante el secado de filete de tilapia.**

#### 4.7 FLUJOGRAMA Y BALANCE DE MATERIALES PARA LA OBTENCIÓN DE FILETES DE TILAPIA (*Oreochromis sp.*) DESHIDRATADOS.

Para la obtención de los filetes deshidratados se siguió el diagrama de flujo de la figura N° 26, que a la vez indica el balance de materiales correspondiente al proceso de secado.



**Figura N° 26: Flujograma para la obtención y balance de materiales para filetes de tilapia deshidratados.**

Para el proceso de deshidratación por aire caliente de filetes de tilapia el porcentaje de desperdicios es aproximadamente 66.62%, considerando que solo se utilizan los dos filetes del pescado se tiene un rendimiento de 6.89%, con humedad final de 8.5%

#### 4.8 ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial fue realizado mediante una prueba afectiva (escala hedónica de cinco puntos de calificación) para los filetes deshidratados. El mejor tratamiento de secado se eligió en base a los resultados, según el diseño



completamente al azar (DCA) con arreglo factorial. Para estos análisis se contó con la participación de 10 jueces, los que a través de una ficha de evaluación calificaron cuatro atributos (apariencia general, color, olor y textura) para los nueve tratamientos de filetes deshidratados. Debido a la diferencia significativa entre los tratamientos se realizó la prueba de promedios de Tuckey al 5 % de probabilidad. Además se efectuó el análisis de Superficie de Respuesta para todos los atributos evaluados.

Los resultados obtenidos de la evaluación sensorial para los filetes deshidratados se muestran en los cuadros N° 11, N° 12, N° 13 y N° 14 para apariencia general, color, textura y olor respectivamente.

En el cuadro N° 11, se observa que el mayor grado de aceptación, en cuanto a la apariencia general fue para temperatura de 40 °C, con velocidad de aire de 0.8 m/s. La apariencia general es la percepción completa del juez sobre el producto, consecuentemente el mejor tratamiento, al igual que para los atributos, es el mismo.

**Cuadro N° 11: Promedios ordenados en forma ascendente, obtenidos del análisis sensorial para el atributo de apariencia general.**

CARACTERÍSTICAS	Temperatura °C	Velocidad del aire (m/s)	Tratamiento	Promedio Ordenado	SIGNIFICANCIA
APARIENCIA GENERAL	40	1.1	C	0.9	A
	50	1.1	F	0.7	A C
	60	1.1	I	0.6	A C E
	40	0.8	B	0.5	A C E G
	50	0.8	E	-0.1	B C E G
	40	0.5	A	-0.2	B C E G
	50	0.5	D	-0.5	B D F H
	60	0.5	G	-0.5	B D F H
	60	0.8	H	-0.9	B D F H

Fuente. Elaboración propia

**Cuadro N° 12: Resultados ordenados en forma descendente de acuerdo a los promedios obtenidos en el análisis sensorial del atributo color.**

CARACTERÍSTICAS	Temperatura °C	Velocidad del aire (m/s)	Tratamiento	Promedio ordenado	SIGNIFICANCIA
COLOR	40	1.1	C	1.0	A
	40	0.8	B	0.8	A C
	60	1.1	I	0.7	A C E G
	50	1.1	F	0.6	A C E G
	40	0.5	A	-0.1	B C E G
	60	0.5	C	-0.5	B D F H
	50	0.8	E	-0.5	B D F H
	50	0.5	D	-0.6	B D F H
	60	0.8	H	-1.1	B D F H

Fuente. Elaboración propia

Como se observa en el cuadro N° 12, la mayor aceptación fue para los tratamientos a 40°C y velocidades de aire de 1.1 m/s y 0.8 m/s; mientras que los tratamientos que alcanzaron las calificaciones más bajas en el análisis sensorial

fueron los deshidratados a temperaturas de 60°C con velocidad de 0.8 m/s y 50°C con velocidad de aire de 0.5 m/s, alcanzando valores promedios de -1.1 y -0.6 respectivamente. Esto es porque a temperaturas mas altas existe mayor pardeamiento debido a las reacciones de los pigmentos (mioglobina) presente en el filete.

**Cuadro N° 13: Resultados ordenados en forma descendente de acuerdo a los promedios obtenidos en el análisis sensorial del atributo textura**

CARACTERÍSTICAS	Temperatura °C	Velocidad del aire (m/s)	Tratamiento	Promedio ordenado	SIGNIFICANCIA
TEXTURA	40	1.1	C	0.8	A
	50	1.1	F	0.7	A C
	50	0.8	E	0.5	A C
	40	0.8	B	0.4	A C
	40	0.5	A	0.2	A C
	60	1.1	I	0.2	A C
	60	0.5	G	-0.2	A C
	50	0.5	D	-0.5	B D
	60	0.8	H	-0.5	B D

Fuente. Elaboración propia

En el cuadro N° 13 para la textura se observa que a temperatura de 40°C y velocidad de aire de 1.1 m/s, existe un mayor grado de aceptabilidad. Los tratamientos poco aceptados fueron a temperaturas de 60°C con velocidad de aire de 0.8 m/s, 50°C con velocidad de aire de 0.5 m/s y 60°C con velocidad de aire de 0.5 m/s que al ser evaluados dieron valores negativos.

**Cuadro N° 14: Resultados ordenados en forma descendente de acuerdo a los promedios obtenidos en el análisis sensorial del atributo olor**

CARACTERÍSTICAS	Temperatura °C	Velocidad del aire (m/s)	Tratamiento	Promedio ordenado	SIGNIFICANCIA
OLOR	40	1.1	C	1.1	A
	50	1.1	F	1.0	A C
	40	0.8	B	0.9	A C E
	60	1.1	I	0.9	A C E G
	40	0.5	A	0.5	A C E G
	50	0.8	E	0.4	A C E G
	60	0.5	G	0.4	A C E G
	50	0.5	D	0.3	A C E G
	60	0.8	H	0.0	B D F I

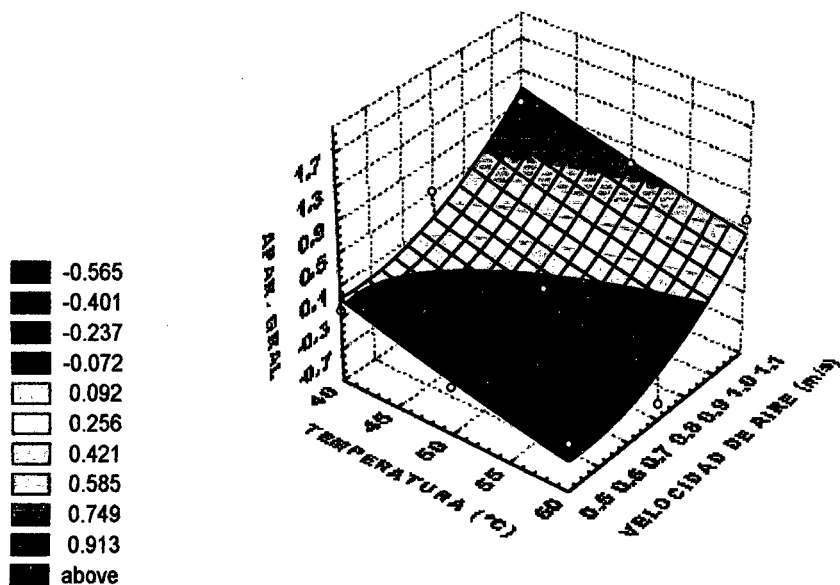
Fuente. Elaboración propia

En el cuadro N° 14 se observa, respecto al olor, que a temperatura de 40°C y velocidad de aire de 1.1 m/s, existe mayor grado de aceptabilidad en comparación con los otros tratamientos evaluados. Esto se debe posiblemente a que a menor temperatura de secado se tiene menor pérdida de bases nitrogenadas volátiles que caracterizan el olor propio del pescado.

#### **4.8.1 Superficie de Respuesta para el análisis sensorial de filete de tilapia deshidratada.**

Las superficies de respuesta que muestran las zonas de mayor aceptación para los diferentes atributos evaluados, generadas mediante el programa STATISTICA 5.0 son presentadas a continuación.

#### 4.8.1.1 Apariencia general.



**Figura N° 27: Superficie de Respuesta para el atributo apariencia general, según el análisis sensorial realizado por los jueces.**

En cuanto a la apariencia general, puede notarse que los mejores tratamientos resultan a velocidad de aire de 1.1 m/s y a temperaturas de 40 °C y 50 °C.

La ecuación que representa la superficie de respuesta del atributo apariencia está dada por:

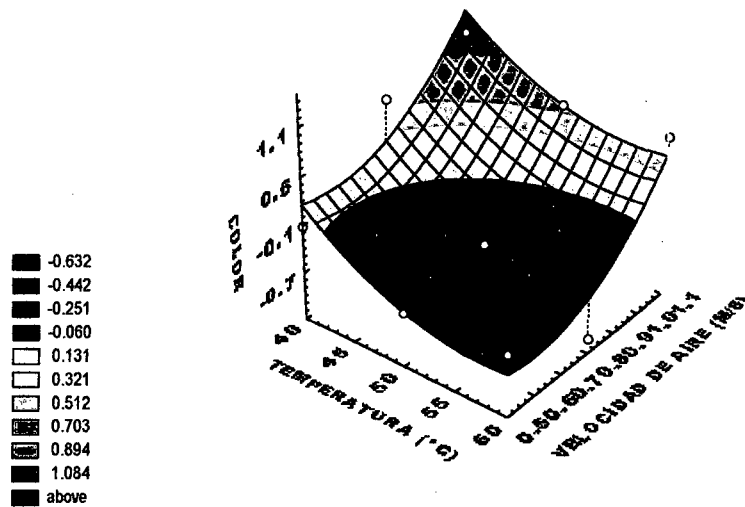
$$Z = 3.17 - 0.067 * x + 0.000333 * x^2 - 4.037 * y + 3.70 * y^2 + 7.85 * 10^{-16} * x * y + 0$$

Donde:

X = Temperatura.

y = Tiempo.

#### 4.8.1.2. Color



**Figura N° 28: Superficie de Respuesta para el atributo color según el análisis sensorial realizado por los jueces.**

En la figura N° 28 se observa, respecto al color, que los mejores tratamientos según el análisis sensorial realizado por los panelistas son a temperatura de 40°C con velocidades de aire de 0.8 y 1.1 m/s.

La ecuación que representa la superficie de respuesta del atributo apariencia está dada por:

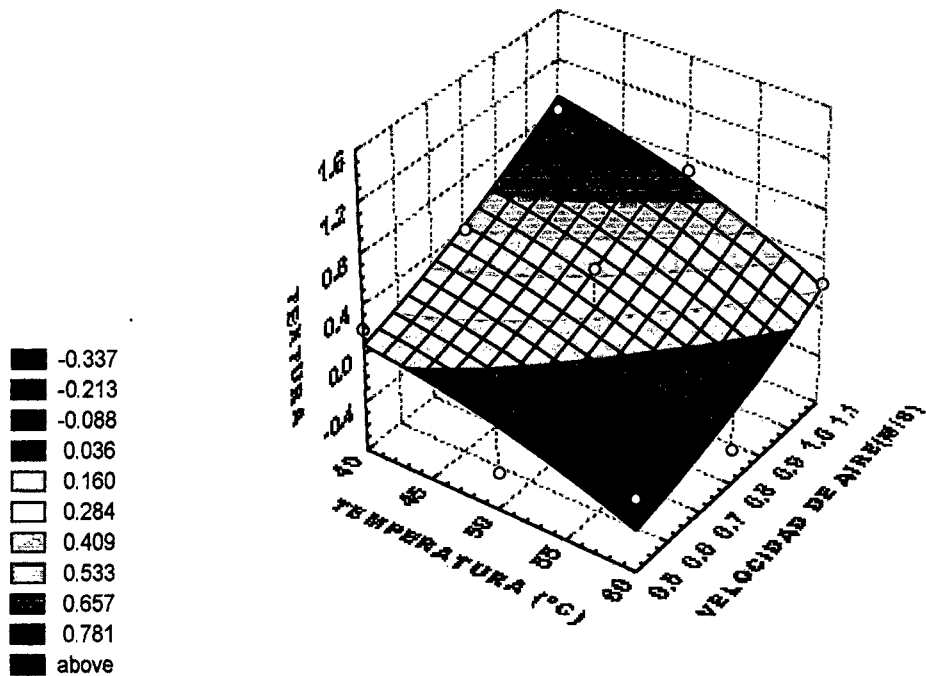
$$Z = 11.18 - 0.35 * x + 0.00299 * x^2 - 6.47 * y + 5.00 * y^2 + 0.008 * x * y + 0$$

Donde:

x = Temperatura

y = Tiempo.

#### 4.8.1.3 Textura



**Figura N° 29: Superficie de Respuesta para el atributo Textura, según el análisis sensorial realizado por los jueces.**

Respecto a la textura del filete deshidratado, como se observa en la figura N° 29, los mejores tratamientos resultaron a velocidades de aire de 1.1 m/s, para las temperaturas de 40 °C y 50 °C .

La ecuación que representa la superficie de respuesta del atributo textura está dada por:

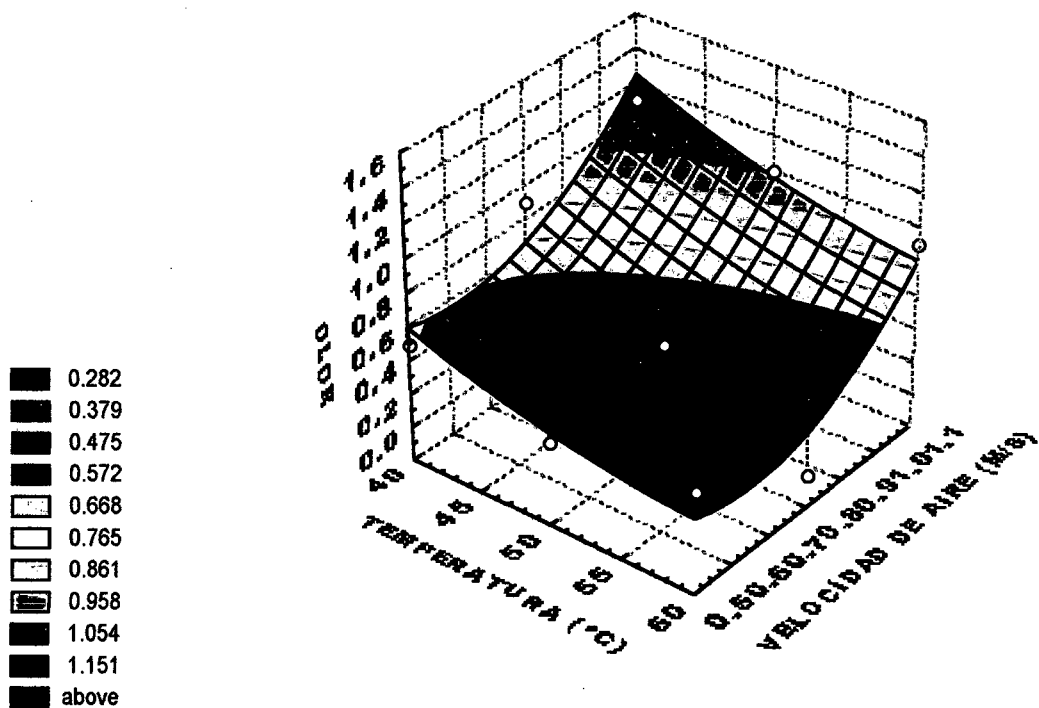
$$Z = -1.48 + 0.065 * x - 0.0008 * x^2 + 0.87 * y + 0.74 * y^2 - 0.017 * x * y + 0$$

Donde:

x = Temperatura.

y = Tiempo.

#### 4.8.1.4 Olor



**Figura N° 30: Superficie de Respuesta para el atributo olor, según el análisis sensorial realizado por los jueces.**

En la figura N° 30, se ubican en las zonas de mayor aceptación los tratamientos a velocidades de aire de 1.1 m/s para 40 °C y 50 °C.

La ecuación que representa la superficie de respuesta del atributo olor está dada por:

$$Z = 3.82 - 0.08 * x + 0.00067 * x^2 - 3.32 * y + 2.96 * y^2 - 0.008 * x * y + 0.$$

Donde:

x = Temperatura

y = Tiempo.



#### 4.9 REHIDRATACION

Los nueve tratamientos de secado se sometieron a un procedo de rehidratación para comparar su comportamiento. Las muestras secas se sumergieron en agua destilada por un tiempo de 8 horas, realizando pesadas a intervalos de 0.5 horas hasta peso constante. Los resultados obtenidos se muestran en la figura N° 31. Los tratamientos a temperatura de 40 °C tuvieron mejor capacidad de absorción, en comparación con los tratamientos a temperatura de 60 °C, esto debido a la menor desnaturalización que sufren las proteínas cuando el secado se realiza a temperaturas bajas.

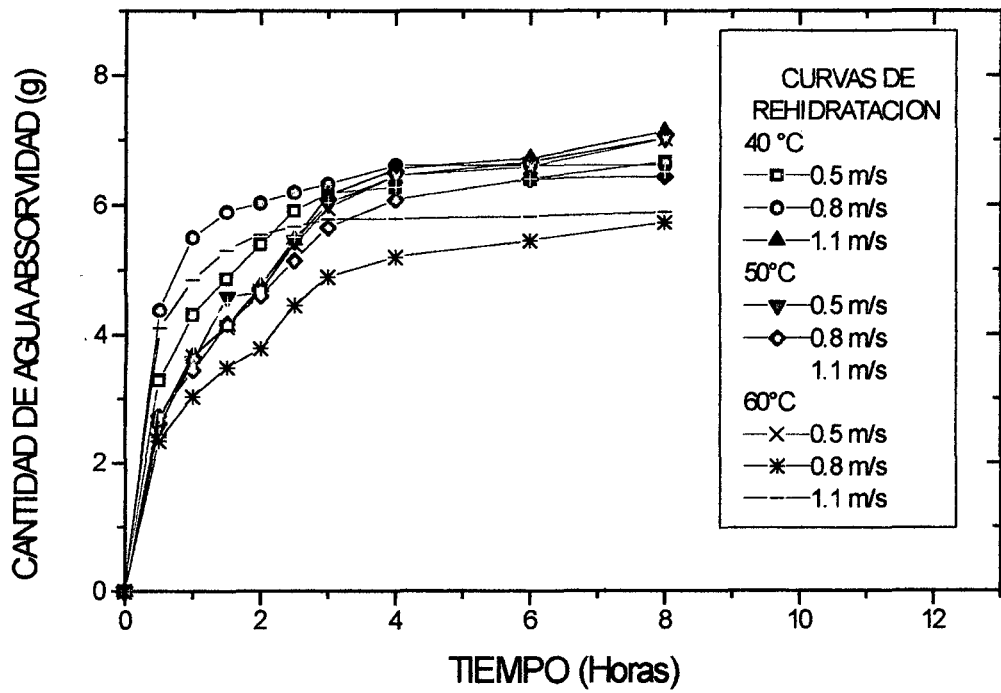


Figura N° 31: Rehidratación de los filetes de tilapia para los nueve tratamientos de secado evaluados.

## V. CONCLUSIONES

- La cinética de secado de los filetes de tilapia, está influenciada grandemente por la temperatura, mientras que el efecto de la velocidad de aire de secado fue menor.
- La difusividad del agua presente en los filetes de tilapia fue varia desde  $3.14 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s hasta  $9.05 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s para las condiciones de secado evaluadas entre 40°C y 60 °C.
- Los valores simulados para cinética de secado utilizando la ecuación de Fick, para placa plana, presentaron buen grado de concordancia con los valores experimentales.
- En ninguno de los ensayos se observó el periodo de velocidad constante, por lo cual podemos afirmar que el secado para los filetes de tilapia está gobernado por la difusividad.
- La ecuación de GAB fue la que mejor reprodujo los datos experimentales de isothermas de adsorción, obteniéndose los valores más altos para el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Los valores de humedad de monocapa variaron de 0.07113 g. de agua/ g. de materia seca a 0.05912 g. de agua/ g. de materia seca para las temperaturas de 40 °C y 60 °C respectivamente.
- Según el análisis sensorial las mejores condiciones de secado para los filetes de tilapia fueron a temperatura de 40 °C con velocidad de aire de secado de 1.1 m/s.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Mejorar la calidad de los alevinos, en base a la implementación de un centro de producción semillero certificado por el Ministerio de Pesquería.
- Evaluar el empaque y condiciones de almacenamiento adecuadas para los filetes deshidratados, así como también su rehidratación.
- Incentivar el estudio de secado para otras especies de pescado cultivadas en la región e incentivar el consumo de estos productos deshidratados.
- Aprovechar la asignatura de Diseño y construcción de equipos para la Agroindustria para hacer un trabajo en el cual se pueda determinar con mayor especificidad las características del secador del laboratorio por flujo de aire caliente.
- Implementar los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial para facilitar los trabajos de investigación de los alumnos que realicen sus trabajos en ellos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Avaul, J. W. (1996).** "Fundamentals of aquaculture" Avi Pub. Company. USA
2. **Barbosa-Cánovas G., Vega- Mercado, H. (2000)** "Deshidratación de alimentos", Editorial Acribia., Zaragoza (España)
3. **Box, G. E. P.; Hunter, J. S. (1978)** "Statistics for experimenters: an introducción to design, data analysis and model building. New York, Wiley y Sons.
4. **Burgess (1979).** "El pescado y la industria de los productos derivados de la pesca" Editorial Acribia. Zaragoza (España).
5. **Cheftel, J. C. ; Cheftel, H. (1976)** "Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los alimentos", Vol. I, Editorial Acribia, Zaragoza (España).
6. **Chen, C. S. y Johnston, W. H. (1969)** "Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials. 1. Theorical consideration of drying phenomena. Trans. ASAE. 12: 109-113.
7. **Chimits, P. (1955)** La tilapia y su cultivo. Bol. de pesca, FAO, vol 8 (1).
8. **Crank, J. (1975)** "The mathematics of diffusion", 2ª ed, Claredón Press – Oxford. England.

9. **Díaz, J. (2002)** "Deshidratación por aire caliente de musculo de camaron gigante de Malasia (*Macrobrachium rosenbergii*)"
10. **Gahoma, E. (2000).** "Actividad de agua". Universidad de la Serena Chile.  
<http://monogas.infoagro.info.ve/informacion/tecnologia/acuicultura/camaron.htm>.
11. **Geankoplis, Ch. (1995)** "Procesos de transporte y operaciones Unitarias".  
Compañía Editorial Continental S.A. CECOSA., México.
12. **Labuza, T., Kaanane, A. y Chen, J (1985)** "Effect of temperature on the Moisture sorption Isotherms and water Activity Shift of two Dehydrated Food, J. Fd.Sci. 50(2):385-391
13. **Mc Minn, W., Magge, T (1999).** "Isotermas de adsorción de vapor de agua de harina de pescado. I Anchoveta (*Engraulis rigens*). Anales del I Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos, Campinas, Brasil.
14. **Medina, M. (1998).** Estudo da Difusao de Cloreto de Sódio no Filé de Peixe; Tese Mestrado, FEA-UNICAMP, Brasil.
15. **Mendieta , O. (1999)** "Purificacao de lipase de Geotrichum sp. por resina cromatografica de interacao hidrofobica. Modelagen, simulacao e validacao de parámetros, Campinas, Brasil.

16. **Mendieta O. , Medina M. (1993)** "Salado y secado solar de filetes de Tilapia (*Oreochromis spp.*)" Folia Amazónica-IIAP, Iquitos-Peru.
17. **Popma, T. J. y Lovshin, L (1996)** " Worldwide prospect for commercial production of tilapia". Auburn, Alabama, USA.
18. **Sinnha, S. P. (2001)** "Curso introductorio de Diseño y análisis de superficie de respuesta" (<http://ssinha.virtualave.net/supresp.htm>)
19. **Texeira B.F. y Tobinaga S. (1998).** "A diffusion Model for Describing Water Transport in Round Squid Mantle During Drying with a Moisture- dependent Effective Diffusivity.", Journal of Food Engineering. 36. p.169-181.
20. **Vazquez, G., chenlo, F., Moreira, R., Carvalho, L., (1999),** "Desorption isotherms of muscatel aledo grapes, and the influence of pretreatments on muscatel isotherms" Journal of Food Engineering V39 pp. 409-414.
21. **Wicki, G. y Gromenida, N. (1997)** "Estudio de Desarrollo y producción de tilapias" Ministerio de Producción de la provincia de Formosa, Buenos Aires (<http://aquatic.unizar.es/n1/art204/tilapia.htm>.)
22. **Wolf, W., Speiss, W. And Junk, G. (1985),** "Standaization of isotherm Measurement". In Properties of water in foods (Simantos, D., Multon, J., eds) pp661-667 Martinus Nijhoff Pub netherland.

23. **Zakhia. N, Bohuon. P, y Collignan, A. (1995).** "Modelling of Fish Drying using a Combination of Surface Response Methodology and Diffusional Models" , Drying Technology v.13 (n 8-9), p. 2083-2096.

## **VIII ANEXO**



ANALISIS SENSORIAL DE LOS FILETES DESHIDRATADOS

El análisis sensorial para los 9 tratamientos de filetes deshidratados se realizo utilizando una prueba de escala hedónica de cinco puntos, que se muestra en la siguiente ficha:

Nombre: ..... Fecha: ..... Hora: .....

Producto : filete de tilapia deshidratada

Frente a Ud. tiene muestras de tilapia deshidratada. Por favor marque con una X donde corresponda su opinión respecto al color, olor, textura y apariencia general

ESCALA	COLOR					OLOR					TEXTURA					APARIENCIA GENERAL				
MUY BUENO																				
BUENO																				
NI BUENO I MALO																				
MALO																				
MUY BUENO																				

COMENTARIO:.....  
.....

Los resultados del análisis sensorial, desarrollo del análisis de varianza y prueba de Tuckey al 5% de probabilidad para los promedios de atributos de: **APARIENCIA GENERAL, COLOR, OLOR Y TEXTURA** de los nueve tratamientos de filete de tilapia se muestran a continuación.

### ATRIBUTO: APARIENCIA GENERAL

Jueces	Temperatura ( °C)									Total
	40			50			60			
	Velocidad de aire (m/s)									
	0.5	0.8	1.1	0.5	0.8	1.1	0.5	0.8	1.1	
1	1	0	1	0	0	1	1	-1	2	5
2	1	1	2	0	0	0	-1	0	0	3
3	0	1	1	0	1	1	0	0	1	5
4	-1	0	1	-2	0	0	-1	-1	0	-4
5	0	0	1	-1	0	0	1	-1	1	1
6	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	0
7	1	2	1	0	1	2	-1	0	1	7
8	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-2	0	-5
9	-1	0	1	1	-1	0	-1	-2	-1	-4
10	-1	0	1	-1	-1	1	-1	-2	1	-3
Total	-2	5	9	-5	-1	7	-5	-9	6	5
Promedio	-0	-1	0.9	-0.5	-0.1	0.7	-0	-0.9	0.6	

## CALCULOS

$$\text{Suma } Y^2 = 1^2 + 1^2 + 0^2 + \dots + 6^2 = 85$$

**FACTOR DE CORRECCIÓN** =  $(5)^2 / 10 \cdot 9 = 0.28$

$$= 0.28$$

**SUMA BLOQUES**  $= ((5)^2 + (3)^2 + ..... + (-3)^2)/9 - 0.28$

$$= 19.16$$

$$\begin{aligned}\text{SUMA TRATAMIENTOS} &= ((-2)^2 + (5)^2 + \dots + (6)^2)/10 - 0.28 \\ &= 32.42\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SUMA yy} &= 85 - 0.28 - 19.16 - 32.42 \\ &= 33.19\end{aligned}$$

	a0	A1	a2	
b0	-2	-5	-5	-12
b1	5	-1	-9	-5
b2	9	7	6	22
	12	1	-8	5

$$\begin{aligned}\text{Ayy} &= ((-12)^2 + (-5)^2 + (22)^2)/30 - 0.28 \\ &= 21.49\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Byy} &= ((12)^2 + (1)^2 + (-8)^2)/30 - 0.28 \\ &= 6.69\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{AByy} &= 32.42 - 21.49 - 6.69 \\ &= 4.24\end{aligned}$$

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrado medio	F Calculada	F 0.05	Nivel de significancia
JUECES	9	19.16	2.13	4.63	2.006	**
TRATAMIENTOS	8	32.42				
temperatura	2	6.69	3.35	7.28	3.126	**
Velocidad de aire	2	21.49	10.75	23.37	3.126	**
A * B	4	4.24	1.06	2.3	2.496	N.S
ERROR	72	33.19	0.46			
TOTAL	89	117.19				

## PRUEBA DE TUCKEY

Calculo del error Estándar

$$S_x = \sqrt{(CME / n)} \quad S_x = \sqrt{(0.46/10)} = 0.2144$$

Por lo tanto DL con 72 G. L. De error

$$Q_{0.05}(9, 72) = 4.5$$

$$W = S_x * Q$$

$$W = 0.2144 \times 4.5 = 0.9648$$

## Promedios de Tratamientos

C	F	I	B	E	A	D	G	H
0.9	0.7	0.6	0.5	-0.1	-0.2	-0.5	-0.5	-0.9

**PRUEBA DE SIGNIFICANCIA PARA EL ATRIBUTO APARIENCIA GENERAL**

Componentes	Diferencias Absolutas	DLS	Significancia
C – F	0.2	0.9648	n.s
C – I	0.3	0.9648	n.s
C – B	0.4	0.9648	n.s
C – E	1	0.9648	significativo
C – A	1.1	0.9648	significativo
C – D	1.4	0.9648	significativo
C – G	1.4	0.9648	significativo
C – H	1.8	0.9648	significativo
F – I	0.1	0.9648	n.s
F – B	0.2	0.9648	n.s
F – E	0.8	0.9648	n.s
F – A	0.9	0.9648	n.s
F – D	1.2	0.9648	significativo
F – G	1.2	0.9648	significativo
F – H	1.6	0.9648	significativo
I – B	0.1	0.9648	n.s
I – E	0.7	0.9648	n.s
I – A	0.8	0.9648	n.s
I – D	1.1	0.9648	significativo
I – G	1.1	0.9648	significativo
I – H	1.5	0.9648	significativo
B – E	0.6	0.9648	n.s
B – A	0.7	0.9648	n.s
B – D	1	0.9648	significativo
B – G	1	0.9648	significativo
B – H	1.4	0.9648	significativo
E – A	0.1	0.9648	n.s
E – D	0.4	0.9648	n.s
E – G	0.4	0.9648	n.s
E – H	0.8	0.9648	n.s
A – D	0.3	0.9648	n.s
A – G	0.3	0.9648	n.s
A – H	0.7	0.9648	n.s
D – G	0	0.9648	n.s
D – H	0.4	0.9648	n.s
G – H	0.4	0.9648	n.s

**ATRIBUTO: TEXTURA**

Jueces	Temperatura ( °C)									Total
	40			50			60			
	Velocidad de aire (m/s)									
	0.5	0.8	1.1	0.5	0.8	1.1	0.5	0.8	1.1	
1	2	1	1	-1	2	2	0	-1	2	8
2	1	0	1	0	0	0	0	1	0	3
3	-1	1	1	0	1	1	-1	-1	2	3
4	1	1	1	-1	0	1	0	0	0	3
5	-1	0	1	-1	1	0	1	-1	0	0
6	0	1	1	0	0	1	0	1	0	4
7	1	-1	1	1	1	2	1	0	1	7
8	0	0	0	-1	0	1	-1	-1	-1	-3
9	0	0	0	-1	0	-2	-1	-2	-1	-7
10	-1	1	1	-1	0	1	-1	-1	-1	-2
Total	2	4	8	-5	-5	7	-2	-5	2	16
Promedio	0.2	0.4	0.8	-0.5	0.5	0.7	-0.2	-0.5	0.2	

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrado medio	F Calculada	F 0.05	Nivel de significancia
JUECES	9	21.37	2.37	4.23	2.006	**
TRATAMIENTOS	8	18.75				
temperatura	2	6.16	3.08	5.50	3.126	**
Velocidad de aire	2	8.16	4.08	7.28	3.126	**
A * B	4	4.43	1.10	1.96	2.496	N.S
ERROR	72	41.02	0.56			
TOTAL	89	117.19				

## PRUEBA DE SIGNIFICANCIA PARA EL ATRIBUTO TEXTURA

Componentes	Diferencias Absolutas	DLS	Significancia
C – F	0.1	0.135	n.s
C – E	0.3	0.135	n.s
C – B	0.4	0.135	n.s
C – A	0.6	0.135	n.s
C – I	0.6	0.135	n.s
C – G	1	0.135	n.s
C – D	1.3	0.135	significativo
C – H	1.3	0.135	significativo
F – E	0.2	0.135	n.s
F – B	0.3	0.135	n.s
F – A	0.5	0.135	n.s
F – I	0.5	0.135	n.s
F – G	0.9	0.135	n.s
F – D	1.2	0.135	significativo
F – H	1.2	0.135	significativo
E – B	0.1	0.135	n.s
E – A	0.3	0.135	n.s
E – I	0.3	0.135	n.s
E – G	0.7	0.135	n.s
E – D	1	0.135	n.s
E – H	1	0.135	n.s
B – A	0.2	0.135	n.s
B – I	0.2	0.135	n.s
B – G	0.6	0.135	n.s
B – D	0.9	0.135	n.s
B – H	0.9	0.135	n.s
A – I	0	0.135	n.s
A – G	0.1	0.135	n.s
A – D	0.7	0.135	n.s
A – H	0.7	0.135	n.s
I – G	0.4	0.135	n.s
I – D	0.7	0.135	n.s
I – H	0.7	0.135	n.s
G – D	0.3	0.135	n.s
G – H	0.3	0.135	n.s
D – H	0	0.135	n.s

ATRIBUTO: OLOR

Jueces	Temperatura ( °C)									Total
	40			50			60			
	Velocidad de aire (m/s)									
	0.5	0.8	1.1	0.5	0.8	1.1	0.5	0.8	1.1	
1	2	0	1	0	0	1	0	-1	-1	4
2	0	1	1	1	0	0	0	0	1	4
3	1	1	2	2	1	1	1	1	1	11
4	1	1	1	0	0	1	0	0	1	5
5	0	1	1	0	0	1	1	0	0	4
6	-1	1	1	0	0	1	0	0	1	3
7	1	2	1	0	1	2	1	0	1	9
8	1	1	1	0	1	1	0	0	1	6
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
10	-1	0	1	-1	0	1	0	-1	1	0
Total	5	9	11	3	4	10	4	0	9	55
Promedio	0.5	0.9	1.1	3	0.4	1	0.4	0	0.9	

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrado medio	F Calculada	F 0.05	Nivel de significancia
JUECES	9	10.94	1.21	4.65	2.006	**
TRATAMIENTOS	8	11.28				
temperatura	2	2.49	1.24	4.76	3.126	**
Velocidad de aire	2	6.82	3.41	13.11	3.126	**
A * B	4	1.63	0.4	1.53	2.496	N.S
ERROR	72	19.15	0.26			
TOTAL	89					



## PRUEBA DE SIGNIFICANCIA PARA EL ATRIBUTO OLOR

Componentes	Diferencias Absolutas	DLS	Significancia
C – D	0.1	0.81	n.s
C – E	0.2	0.81	n.s
C – B	0.2	0.81	n.s
C – A	0.6	0.81	n.s
C – I	0.7	0.81	n.s
C – G	0.7	0.81	n.s
C – D	0.8	0.81	n.s
C – H	1.1	0.81	significativo
F – E	0.1	0.81	n.s
F – B	0.1	0.81	n.s
F – A	0.5	0.81	n.s
F – I	0.6	0.81	n.s
F – G	0.6	0.81	n.s
F – D	0.8	0.81	significativo
F – H	1	0.81	n.s
B – I	0	0.81	n.s
B – A	0.4	0.81	n.s
B – E	0.5	0.81	n.s
B – G	0.5	0.81	n.s
B – D	0.7	0.81	n.s
B – H	0.9	0.81	significativo
I – A	0.4	0.81	n.s
I – E	0.5	0.81	n.s
I – G	0.5	0.81	n.s
I – D	0.7	0.81	n.s
I – H	0.9	0.81	significativo
A – E	0.1	0.81	n.s
A – G	0.1	0.81	n.s
A – D	0.2	0.81	n.s
A – H	0.5	0.81	n.s
E – G	0	0.81	n.s
E – D	0.1	0.81	n.s
E – H	0.1	0.81	n.s
G – D	0.1	0.81	n.s
G – H	0.4	0.81	n.s
D – H	0.3	0.81	n.s

**ATRIBUTO: COLOR**

Jueces	Temperatura ( °C)									Total
	40			50			60			
	Velocidad de aire (m/s)									
	0.5	0.8	1.1	0.5	0.8	1.1	0.5	0.8	1.1	
1	1	0	2	-1	0	1	1	-1	2	5
2	1	1	1	0	-1	0	-1	-1	0	0
3	0	1	2	0	0	0	0	-1	1	3
4	-1	0	1	-2	-1	0	-1	-1	0	-5
5	-1	1	1	-1	0	1	0	-1	0	0
6	0	0	1	0	-1	1	-1	-1	1	0
7	0	2	0	0	0	2	0	-1	1	4
8	0	1	2	1	0	0	-1	-1	-1	-2
9	0	1	2	1	0	0	-1	-1	-1	1
10	-1	1	1	-2	-1	1	-2	-2	2	-3
Total	-1	8	10	-6	-5	6	-5	-11	7	3
Promedio	-0.1	0.8	1	-0.6	-0.5	0.6	-0.5	-1.1	0.7	

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Suma de cuadrado medio	F Calculada	F 0.05	Nivel de significancia
JUECES	9	9.79	1.08	2.08	2.006	**
TRATAMIENTOS	8	45.6				
temperatura	2	13.06	6.53	12.55	3.126	**
Velocidad de aire	2	24.46	12.23	23.51	3.126	**
A * B	4	8.06	2.105	3.88	2.496	**
ERROR	72	37.51	0.52			
TOTAL	89					

**PRUEBA DE SIGNIFICANCIA PARA EL ATRIBUTO COLOR**

Componentes	Diferencias Absolutas	DLS	Significancia
C – B	0.2	1.035	n.s
C – I	0.4	1.035	n.s
C – F	0.5	1.035	n.s
C – A	1.1	1.035	significativo
C – G	1.5	1.035	significativo
C – E	1.5	1.035	significativo
C – D	1.6	1.035	significativo
C – H	2.1	1.035	significativo
B – I	0.1	1.035	n.s
B – F	0.2	1.035	n.s
B – A	0.9	1.035	n.s
B – G	1.3	1.035	significativo
B – E	1.3	1.035	significativo
B – D	1.4	1.035	significativo
B – H	1.9	1.035	significativo
I – F	0.1	1.035	n.s
I – A	0.8	1.035	n.s
I – G	1.2	1.035	significativo
I – E	1.2	1.035	significativo
I – D	1.3	1.035	significativo
I – H	1.8	1.035	significativo
F – A	0.7	1.035	n.s
F – G	1.1	1.035	significativo
F – E	1.1	1.035	significativo
F – D	1.1	1.035	significativo
I – H	1.7	1.035	significativo
A – G	0.4	1.035	significativo
A – E	0.4	1.035	significativo
A – D	0.5	1.035	significativo
A – H	1	1.035	significativo
G – E	0	1.035	significativo
G – D	0.1	1.035	significativo
G – H	0.6	1.035	significativo
E – D	0.1	1.035	significativo
E – H	0.6	1.035	significativo
D – H	0.5	1.035	significativo

**Datos que son representadas en las graficas de difusividad**

**Velocidad de aire de secado 0.5 m/s**

<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Relación de humedades</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Relación de humedades</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Relación de humedades</b>
0	1	0	1	0	1
3600	0.81574	3600	0.74797	3600	0.64205
7200	0.68675	7200	0.58361	7200	0.48864
14400	0.50986	10800	0.48131	10800	0.37906
18000	0.44352	14400	0.40098	14400	0.29505
21600	0.39193	18000	0.33523	18000	0.2147
25200	0.35139	21600	0.28775	21600	0.16721
28800	0.31085	25200	0.24027	25200	0.13069
32400	0.27769	28800	0.20374	28800	0.09782
36000	0.25189	32400	0.17087	32400	0.0686
39600	0.22241	36000	0.14165	36000	0.05033
43200	0.20398	39600	0.11973	39600	0.03572
50400	0.16713	45000	0.09416	43200	0.02111
54000	0.15239	48600	0.07955		
90000	0.08237	52200	0.06494		
93600	0.07868	55800	0.05033		
100800	0.07131	59400	0.03937		
115680	0.06025	63000	0.02842		
122400	0.05657	70200	0.01746		

**Datos que son representadas en las graficas de difusividad**

**Velocidad de aire de secado 0.8 m/s**

<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Relación de humedades</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Relación de humedades</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Relación de humedades</b>
0	1	0	1	0	1
3600	0.77719	3600	0.66031	3600	0.5983
7200	0.6457	7200	0.49229	7200	0.43247
10800	0.55073	10800	0.38272	10800	0.31822
14400	0.46673	14400	0.29505	14400	0.2482
18000	0.42289	18000	0.23296	18000	0.1745
21600	0.3608	21600	0.18182	21600	0.13396
25200	0.32793	25200	0.1453	25200	0.08974
28800	0.2914	28800	0.11608	28800	0.06394
32400	0.26218	32400	0.08686	32400	0.04551
36000	0.23661	36000	0.0686	36000	0.03077
39600	0.21105	39600	0.05398		
43200	0.18913	43200	0.03937		
46800	0.17087	46800	0.02842		
50400	0.1526	50400	0.02111		
54000	0.14165	54000	0.01381		
57600	0.12704	57600	0.0065		
61200	0.11608				
64800	0.10512				
68400	0.09416				
72000	0.08686				
75600	0.07955				
79200	0.0759				
82800	0.07225				
86400	0.0686				
90000	0.06129				

**Datos que son representadas en las graficas de difusividad**

**Velocidad de aire de secado 1.1 m/s**

<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Relación de humedades</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Relación de humedades</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Relación de humedades</b>
0	1	0	1	0	1
3600	0.76923	3600	0.7006	3600	0.62589
7200	0.63736	7200	0.53426	7200	0.44257
10800	0.5438	10800	0.41598	10800	0.33034
14400	0.46154	14400	0.33097	14400	0.24804
18000	0.39927	18000	0.26443	18000	0.18444
21600	0.34066	21600	0.20529	21600	0.13954
25200	0.03337	25200	0.16094	25200	0.10213
28800	0.26007	28800	0.12397	28800	0.07594
32400	0.22711	32400	0.0981	32400	0.0535
36000	0.1978	36000	0.06853	36000	0.03853
39600	0.17216	39600	0.05374		
43200	0.14652	43200	0.03526		
46800	0.12821	46800	0.02048		
50400	0.11355				
54000	0.0989				
57600	0.08791				
61200	0.07692				
64800	0.06593				
68400	0.05495				

**Datos para graficar la velocidad de secado del filete de tilapia a velocidad de aire de 0.5 m/s**

Temperatura 40 °C		Temperatura 50 °C		Temperatura 60 °C	
Velocidad de secado Kg/m <sup>2</sup> s	Humedad en base seca	Velocidad de secado Kg/m <sup>2</sup> s	Humedad en base seca	Velocidad de secado Kg/m <sup>2</sup> s	Humedad en base seca
4.26316	0.00023	4.26316	0.00042	4.26316	0.0006
3.47761	0.00016	3.18873	0.00027	2.73715	0.00026
2.92773	0.00011	2.48801	0.00017	2.08315	0.00018
2.17361	0.00008	2.05201	0.00013	1.61601	0.00014
1.89081	0.00006	1.70944	0.00011	1.25786	0.00013
1.67086	0.00005	1.42915	0.00008	0.91529	0.00008
1.49804	0.00005	1.22672	0.00008	0.71286	0.00006
1.32522	0.00004	1.02429	0.00006	0.55715	0.00006
1.18382	0.00003	0.86858	0.00005	0.417	0.00005
1.07384	0.00004	0.72843	0.00005	0.29243	0.00003
0.94815	0.00002	0.60383	0.00004	0.21457	0.00002
0.8696	0.00002	0.51043	0.00003	0.15229	0.00002
0.71249	0.00002	0.40143	0.00002		
0.64965	8.66E-6	0.33915	0.00002		
0.35114	4.56E-6	0.27686	0.00002		
0.33543	4.56E-6	0.21457	0.00002		
0.30401	3.31E-6	0.16786	0.00002		
0.25687	2.44E-6	0.12115	9.14E-6		

**Datos para graficar la velocidad de secado del filete de tilapia a velocidad de aire de 0.8 m/s**

Temperatura 40 °C		Temperatura 50 °C		Temperatura 60 °C	
Velocidad de secado Kg/m²s	Humedad en base seca	Velocidad de secado Kg/m²s	Humedad en base seca	Velocidad de secado Kg/m²s	Humedad en base seca
3.86121	0.00033	3.93846	0.0004	3.96664	0.00058
2.98389	0.00019	2.76923	0.00024	2.35063	0.00024
2.46613	0.00014	2.06154	0.00016	1.68347	0.00016
2.09219	0.00012	1.6	0.00012	1.22387	0.0001
1.7614	0.00006	1.23077	0.00009	0.94218	0.00011
1.58881	0.00009	0.96923	0.00007	0.64566	0.00006
1.34431	0.00005	0.75385	0.00005	0.48258	0.00006
1.21487	0.00005	0.6	0.00004	0.30467	0.00004
1.07105	0.00004	0.47692	0.00004	0.20089	0.00003
0.95599	0.00004	0.35385	0.00003	0.12676	0.00002
0.85531	0.00004	0.27692	0.00002		
0.75464	0.00003	0.21538	0.00002		
0.66834	0.00003	0.15385	0.00002		
0.59643	0.00003	0.10796	0.00001		
0.52452	0.00002	0.07692	0.00001		
0.48137	0.00002	0.04615	0.00001		
0.42385	0.00002				
0.3807	0.00002				
0.33755	0.00002				
0.29441	0.00001				
0.26564	0.00001				
0.23688	5.38E-6				
0.22249	5.38E-6				
0.20811	5.38E-6				
0.19373	0.00001				



**Datos para graficar la velocidad de secado del filete de tilapia a velocidad de aire de 1.1 m/s**

Temperatura 40 °C		Temperatura 50 °C		Temperatura 60 °C	
Velocidad de secado Kg/m <sup>2</sup> s	Humedad en base seca	Velocidad de secado Kg/m <sup>2</sup> s	Humedad en base seca	Velocidad de secado Kg/m <sup>2</sup> s	Humedad en base seca
4.26316	0.00028	4.14104	0.00047	4.26316	0.00052
3.27924	0.00016	2.95814	0.00027	2.66826	0.00025
2.71701	0.00012	2.27571	0.00019	1.88676	0.00016
2.27971	0.00009	1.80558	0.00016	1.40829	0.00011
1.96736	0.00008	1.41128	0.0001	1.05742	0.00009
1.70186	0.00007	1.15347	0.00009	0.78628	0.00006
1.45198	0.00005	0.92599	0.00007	0.5949	0.00005
1.28018	0.00005	0.74401	0.00007	0.43541	0.00004
1.10839	0.00004	0.57719	0.00005	0.32376	0.00003
0.96783	0.00004	0.45587	0.00004	0.22807	0.00002
0.84289	0.00003	0.36488	0.00003		
0.73356	0.00003	0.28905	0.00002		
0.62424	0.00002	0.22839	0.00002		
0.54615	0.00002	0.16773	0.00002		
0.48368	0.00002	0.0707	0.00002		
0.42121	0.00001				
0.37436	0.00001				
0.3275	0.00001				
0.28065	0.00001				